

# POTENCIAIS E CUSTOS DE ABATIMENTO DE EMISSÕES DE GEE PARA SETORES-CHAVE DA ECONOMIA BRASILEIRA

## EDIFICAÇÕES

Rafael Garaffa

Junho de 2016



*Esse material objetiva a capacitação acerca das metodologias empregadas no projeto “Opções de mitigação de emissões de GEE em setores-chave do Brasil”. Portanto, seu conteúdo não expressa resultados do projeto.*

# ÍNDICE

1. Caracterização do setor de edificações
2. Atividades típicas de baixo carbono para o setor de edificações
3. Cenários de longo prazo para o setor de edificações
4. Proposição de instrumentos de política pública
5. Considerações finais



# *Caracterização do setor de edificações*



# *Setor de Edificações*



## Setor de Edificações

### USO DE ENERGIA

32% do consumo Mundo  
+ 24% residencial  
+ 8% comercial

14% do consumo Brasil  
+ 9,3% residencial  
+ 4,7% comercial + público

50% do consumo elétrico brasileiro  
(251 TWh)

Fonte: IPCC, 2014 e EPE, 2015.



19% emissões globais  
relacionadas à energia

(diretas e indiretas)

## Setor de Edificações

### Usos Finais



X



No Brasil (2010):

Iluminação (6%) + Climatização (2%) + Refrigeração (9%)

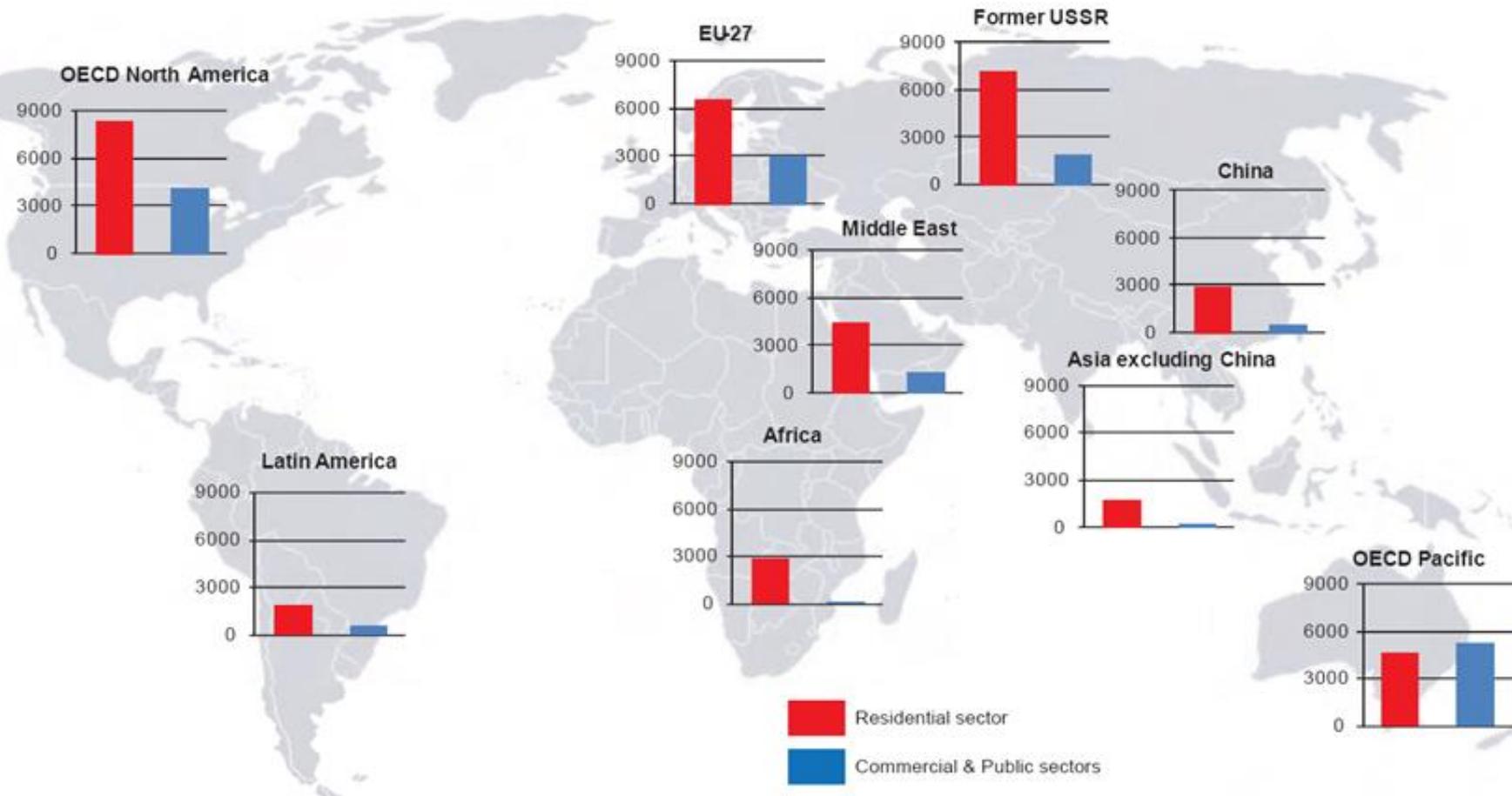
Cocção (60%) + Aquecimento de água (8%) + Outros usos (15%)

Fonte: PROCEL, EPE.



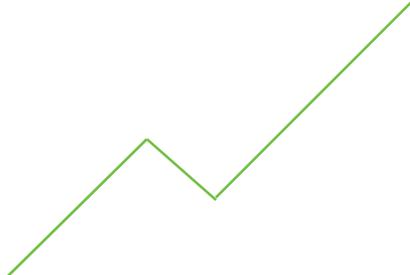
# Setor de Edificações

## Uso final de energia em edificações (kWh/habitante/ano)



# *Setor de Edificações*

## *Fatores de Impacto sobre o Consumo de Energia (drivers)*

- Crescimento populacional
  - Mudanças demográficas
  - Urbanização
  - Renda/desenvolvimento
  - Acesso a fontes modernas de energia
  - Tecnologia
  - Aspectos culturais e comportamentais
- 



# *Atividades típicas de baixo carbono para o setor de edificações*

## Atividades de Baixo Carbono

### /// Eficiência energética

- Redução da quantidade de energia necessária para atender a um mesmo serviço energético

### /// Mudança de combustíveis

- Uso de combustíveis com menor fator de emissão

### /// Geração Distribuída

- Predomínio de fontes limpas e renováveis



## Atividades de Baixo Carbono

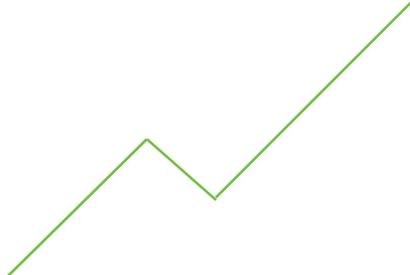
### /// Mudanças estruturais

- Substituição de processos tecnológicos
- Alteração nos processos de produção ou das matérias primas utilizadas

### /// Padrões de construção

- Envoltório, orientação, posição geográfica, materiais

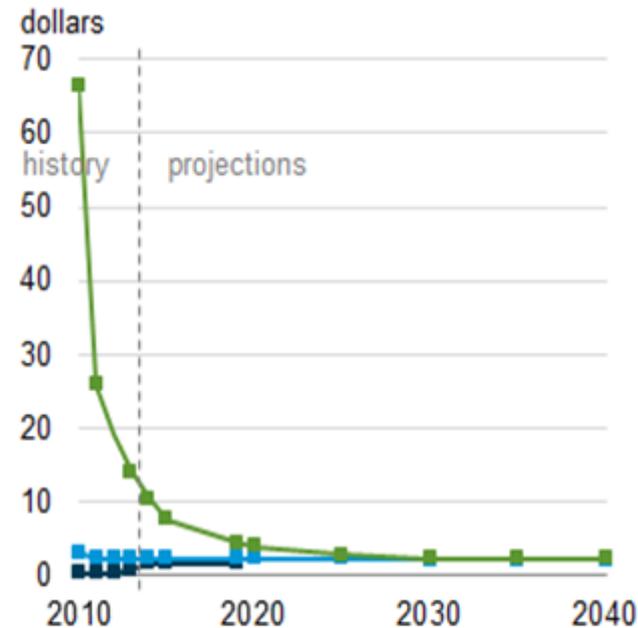
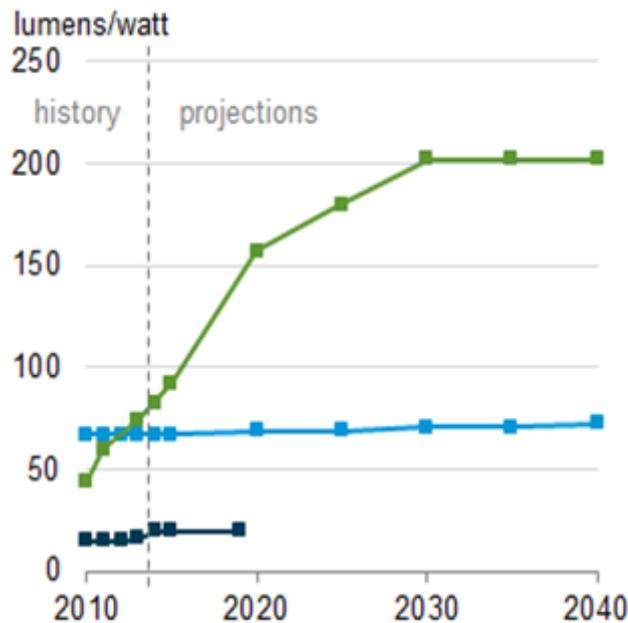
### /// Comportamentais

- Aspectos culturais e aspectos relacionados às diversas formas de uso da energia por parte do consumidor
- 

## Atividades de Baixo Carbono

### Iluminação: Eficientização

- Consumo de eletricidade no setor residencial (2012): 117.646 GWh → 23% consumo total de eletricidade
- Consumo de eletricidade no setor comercial e serviços (2012): 79.809 GWh e 39.919 GWh , respectivamente → 24,2% consumo total de eletricidade
- Melhores Tecnologias Disponíveis



light-emitting diode (LED) compact fluorescent lamp (CFL) incandescent/halogen

# Atividades de Baixo Carbono

## Climatização Residencial: Eficientização

### Tecnologias atuais

- Janela ou parede
- Portátil
- Split

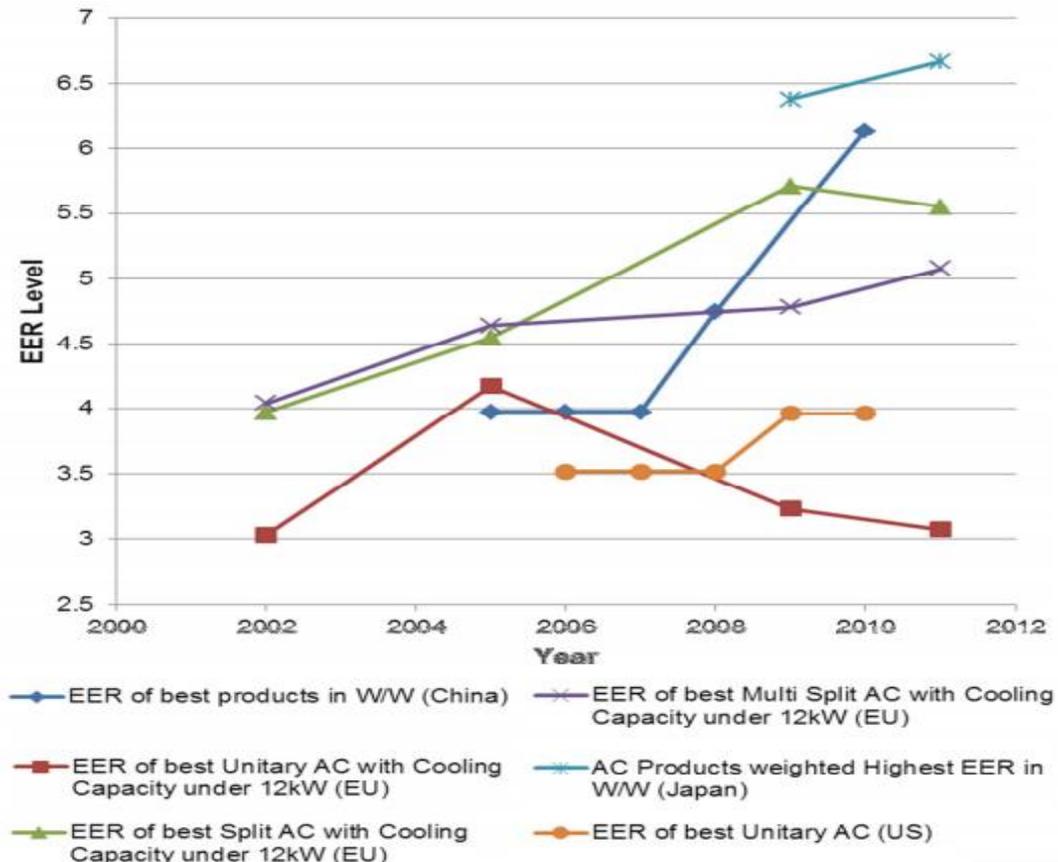
Existem equipamentos no mercado nacional com PROCEL “A” nas seguintes faixas:

- Janela: De 2,8 a 2,3 EER\*
- Split: De 3,2 a 4,8 EER\*

\* Energy Efficiency Ratio = Watt/Watt  
(capacidade de refrigeração em relação à entrada de energia elétrica)

### Melhores Tecnologias Disponíveis

- Benchmarking com a UE, EUA, Japão e China



Fonte: CLASP, 2011

# Atividades de Baixo Carbono

## Climatização Comercial: Eficientização

### Tecnologias atuais

- Janela ou parede
- Split
- Sistemas centrais'
- Equipamentos "self-contained"
- Equipamentos "rooftop"
- Sistemas de água gelada

### Melhores Tecnologias Disponíveis

Opção	Descrição	% melhora em relação a um equipamento de ar-condicionado convencional	
		Min	Max
Trocador de calor eficiente	Trocadores de calor de micro-canal de alta eficiência, trocadores de calor de maior tamanho	9,10%	28,60%
Compressores eficientes	Compressores rotativos de duas etapas, compressores de alta eficiência com motores de CC	6,50%	18,70%
Inversor/Velocidade Variável	CA, CA/DC ou compressores com inversor a CC.	20,00%	24,80%
Válvula de expansão	Válvulas de expansão termostáticas e eletrônicas	5,00%	8,80%
Aquecedor de cárter	Redução de potência e duração de aquecedor do cárter	9,80%	10,70%
Carga "Standby"	Cargas "standby" reduzidas	2,20%	2,20%
Total		60,00%	72,00%

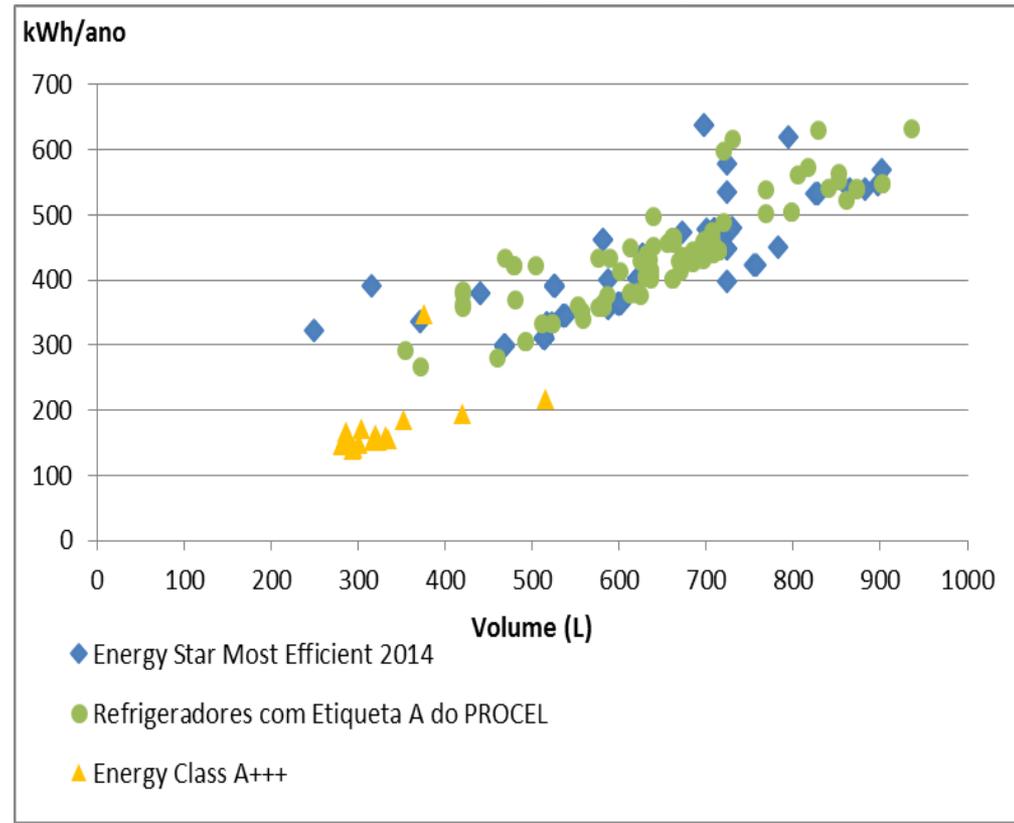
Fonte: Shah et al., 2013

## Atividades de Baixo Carbono

### Refrigeração: Eficientização

- Vendas em 2012:
  - . 6,9 milhões de geladeiras
  - . 1,7 milhões de freezers
- Análise considera que 55% das vendas dessas duas categorias são de equipamentos que possuíam o Selo Procel (ELETROBRAS-PROCEL, 2013)
- Tecnologia mais eficiente (A+++)

Consumo de energia anual vs capacidade dos refrigeradores ENERGY STAR Most Efficient, A+++ da União Europeia e etiqueta "A" do PROCEL



Fonte: Energy Star (2014b), topten.eu (2014), Inmetro (2014).

## Atividades de Baixo Carbono

### Cocção: Substituição de combustíveis e eficiência

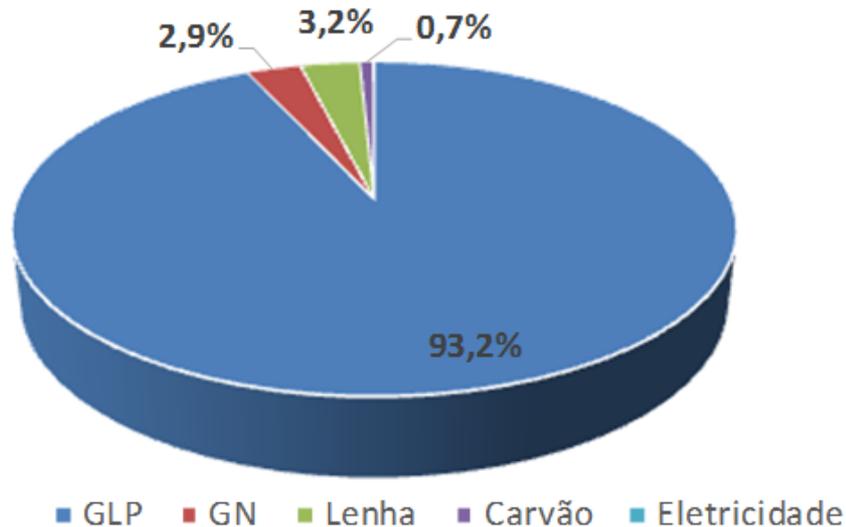
- A opção de uso por determinada fonte energética possui forte correlação com a renda dos consumidores
- 98,7% dos domicílios brasileiros possuem fogão

- Substituição de lenha e GLP por GN

- Tecnologias mais eficientes

- . INMETRO equipamentos com rendimento entre 57% e 66% (amostra com 374 equipamentos)

- . 74% dos queimadores na faixa de eficiência A (eficiência > 63%) com selo CONPET de eficiência



Uso energético na cocção - % por fonte

Fonte: PROCEL, EPE.

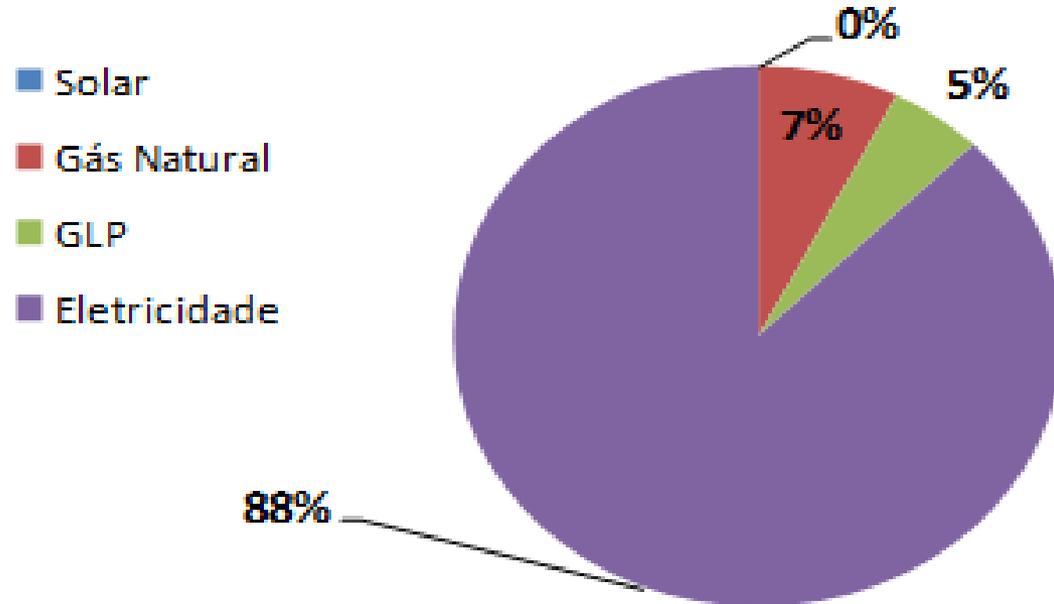
## Atividades de Baixo Carbono

### Aquecimento de Água: Eficientização e substituição de combustíveis

- As principais fontes utilizadas são a energia elétrica, o gás natural, o GLP e a energia solar
- A opção de uso por determinada fonte energética possui forte correlação com a renda dos consumidores, a posse de equipamentos e a interligação às redes de distribuição de gás

– Substituição de Combustíveis

– Tecnologias mais eficientes



Uso energético no aquecimento de água - % por fonte

Fonte: PROCEL, EPE.

## *Atividades de Baixo Carbono*

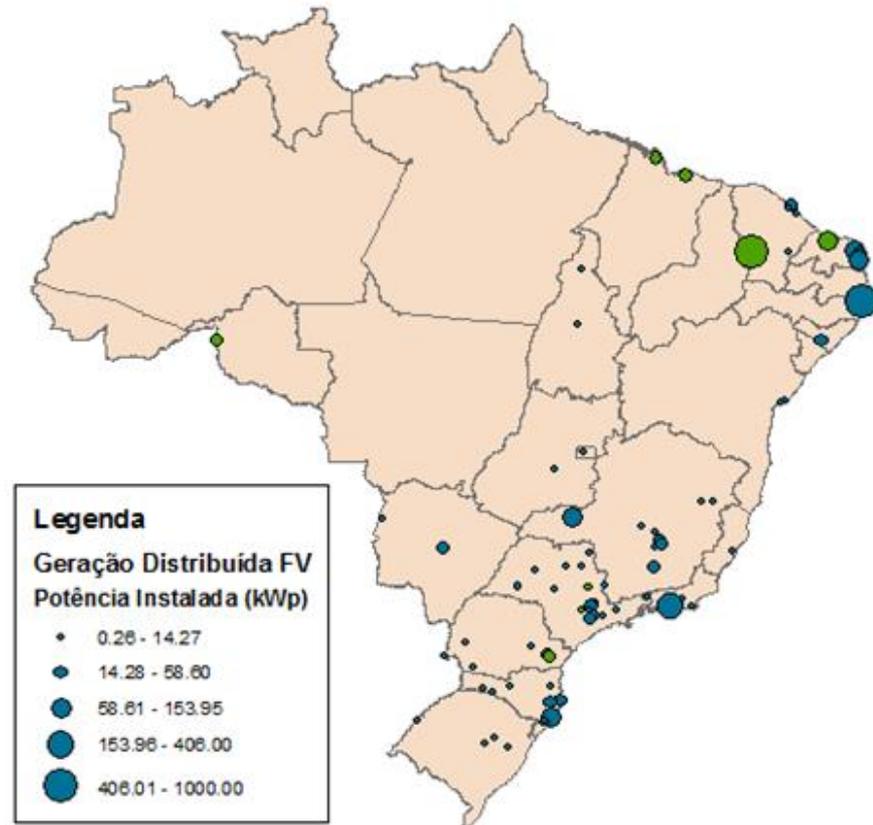
### *Aquecimento de Água - Sistemas de Aquecimento Solar (SAS)*

- Coletor Fechado
  - Para o banho, mas também para uso na cozinha e outras atividades.
  - Atinge temperatura na faixa de 50°C a 80°C.
- Coletor Aberto
  - Para piscinas, onde a temperatura demanda não é muito elevada
  - Atinge temperatura na faixa de 26°C e 30°C
- Coletor Tubular à Vácuo
  - Para a indústria, e locais onde a temperatura externa é baixa e/ou com baixa radiação solar, ou atividades onde a demanda de água de alta temperatura
  - Atinge temperatura na faixa de 100°C a 150°C

## Atividades de Baixo Carbono

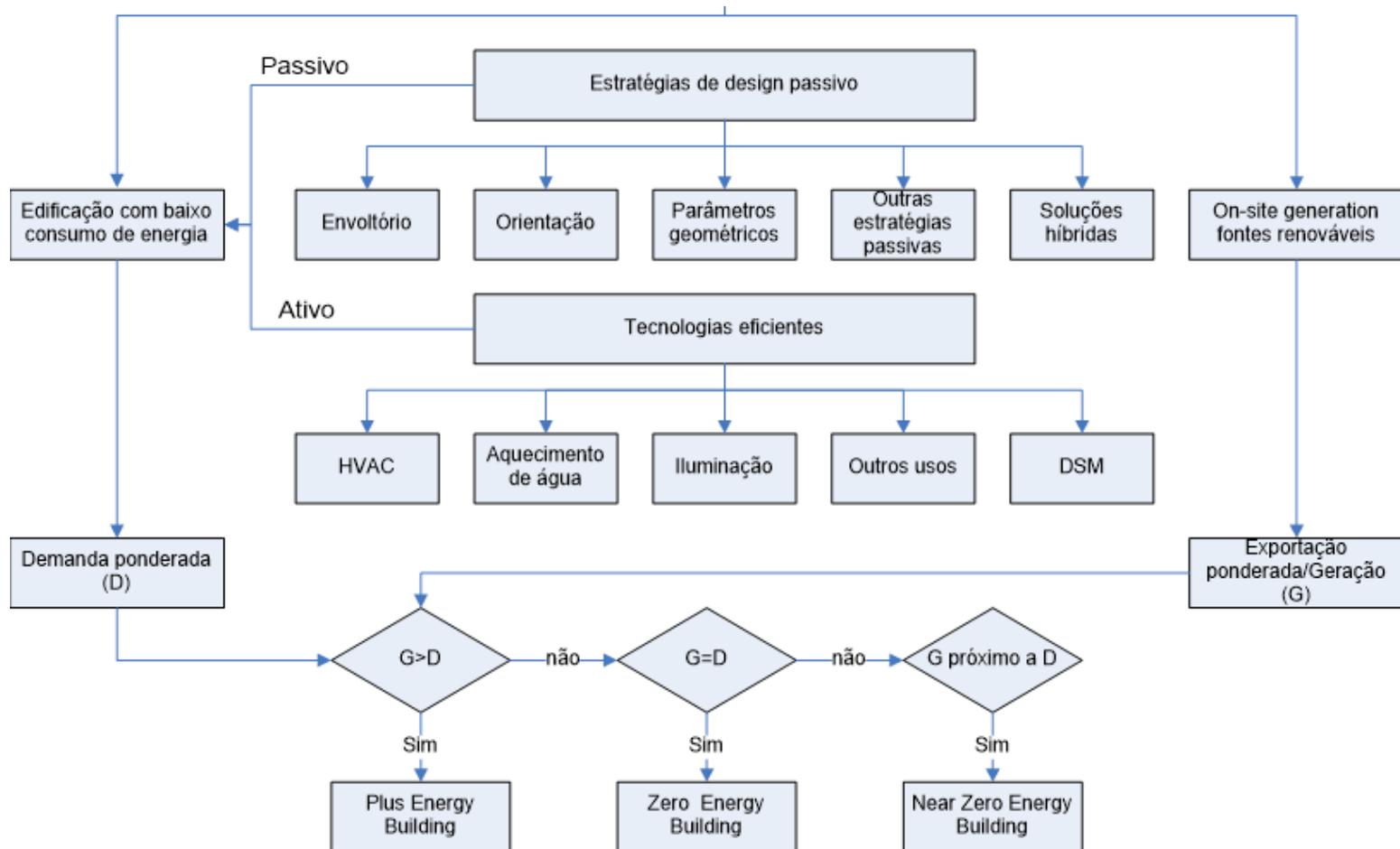
### Geração Distribuída – Solar FV

- Tecnologias mais utilizadas
  - Silício monocristalino (40%)
  - Silício policristalino (40%).
  - Eficiência de 13-19% (m-Si) e 11-15% (p-Si).
- Potência usual de 1-5 kW (comercial/residencial)
- Silício amorfo (a-Si) com menor eficiência, mas boa performance (dias nublados e menor perda com aumento da temperatura).
- Telureto de cádmio (CdTe) com maior eficiência que o silício amorfo. Problemas quanto ao descarte em função da presença de cádmio.



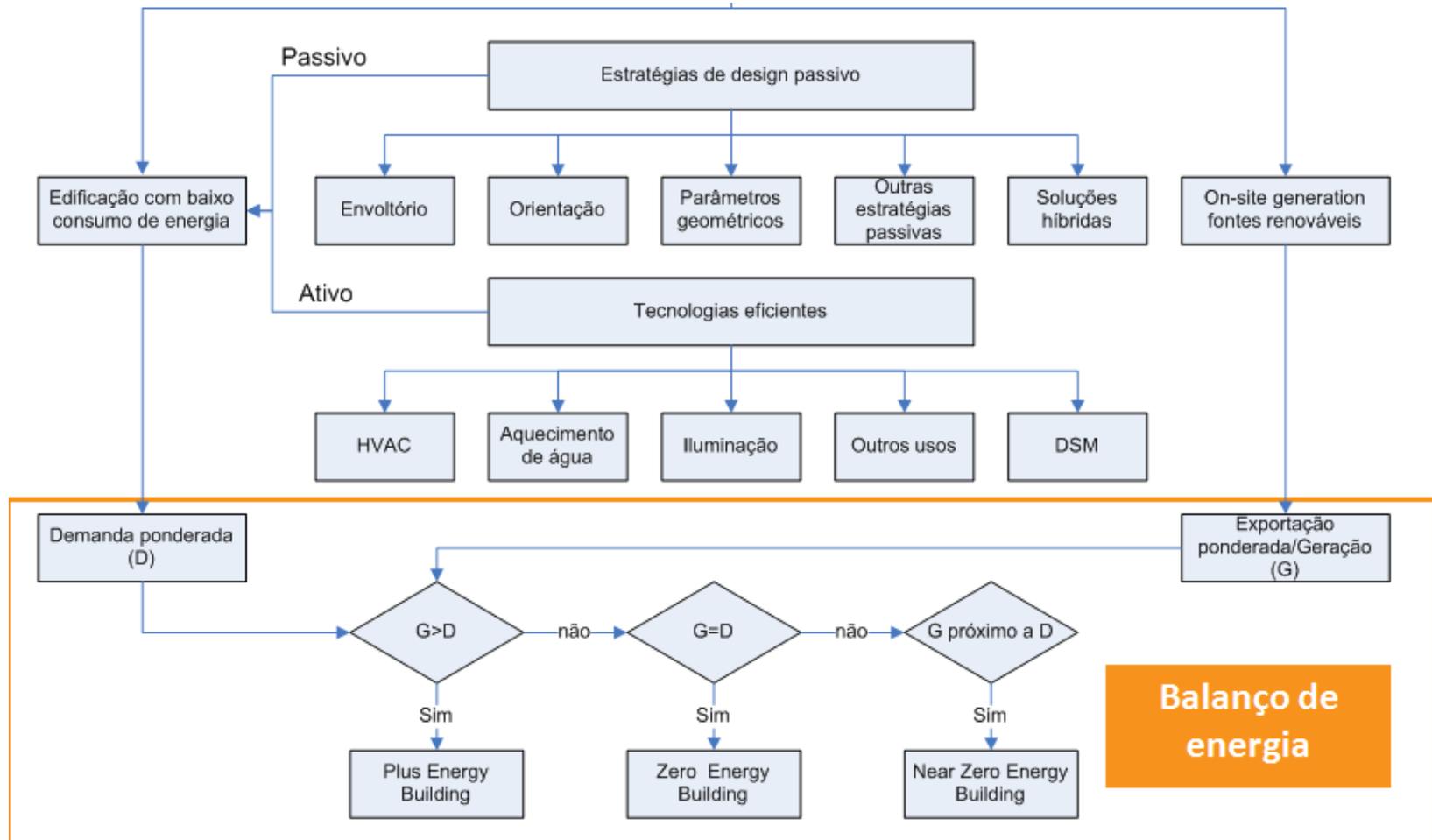
# Atividades de Baixo Carbono

## Edificação de Alto Desempenho



# Atividades de Baixo Carbono

## Edificação de Alto Desempenho



# Atividades de Baixo Carbono

## Hábitos de Consumo Eficientes

Itens	Economia Potencial	Referências
Televisores	30% -35%	Howard et al., 2012; Letschert et al., 2012
Monitores	70%	Park et al., 2013
Geladeiras	40%	Bansal et al., 2011
Cocção	50%	Oberascher et al., 2011
Fornos	25 % - 45 %	Mugdall, 2011
Lavadoras de Roupa	17% - 28%	Bansal et al., 2011; Letschert et al., 2012
Ar Condicionado	50%	Waide et al., 2011
Ventiladores de Teto	50 - 57 %	Letschert et al., 2012; Sathaye et al., 2013
Eletrodomésticos (em Portugal)	60%	da Graca et al., 2012
Computadores e Monitores (escritório)	40%	Mercier and Morrefield, 2009
Uso de Água Residencial (eletrodomésticos)	50 - 80 %	Harvey, 2010

Fonte: IPCC, 2014.



# *Cenários de longo prazo para o setor de edificações*



## Cenários de longo prazo

- Principais premissas gerais
  - Ano-base: 2010
  - Projeção: 2011 a 2050.
  - Cenário macroeconômico → FIPE/USP
  - Calibração: Balanço Energético Nacional; Balanço de Energia Útil; Terceira Comunicação Nacional; Dados socioeconômicos do IBGE; entre outras.
- Cenário de Linha de Base
  - Características de base de mercado
  - Sem mudanças qualitativas no setor
  - Ritmo natural de incorporação de tecnologia
  - Manutenção de tendências setoriais e das políticas em curso
  - Sem alterações estruturais
  - Reposição de equipamentos sucateados por tecnologias similares

## Cenários de longo prazo

- Cenário de Baixo Carbono
  - Adoção de políticas públicas para redução de emissões e do consumo energético
  - Mudanças estruturais aceleram ritmo de incorporação de tecnologias mais eficientes
  - Principais atividades:
    - Eficientização energética
    - Substituição de combustíveis
    - Geração distribuída

## Cenários de longo prazo

### /// Cálculo do Custo de Abatimento

- Parâmetros técnicos
  - Consumo específico de energia
  - Insumos energéticos utilizados
  - Penetração tecnológica
  - Vida útil
- Parâmetros econômicos
  - Custos de capital, operação e manutenção
  - Preços de petróleo e energéticos
- Parâmetros financeiros
  - Taxa de desconto
- Emissões de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, etc...)
  - Linha de base e baixo carbono (emissões evitadas)


$$CO_2e = \frac{C_k - C_{ref}}{E_{CO_2ref} - E_{CO_2k}}$$

Onde:

$CO_2$	Custo de abatimento de CO <sub>2e</sub> (US\$/k CO <sub>2e</sub> )
$C_k$	Valor presente do custo da medida de mitigação k (US\$)
$C_{ref}$	Valor presente do custo da linha de base (US\$)
$E_{CO_2ref}$	Quantidade de CO <sub>2e</sub> emitida na linha de base
$E_{CO_2k}$	Quantidade de CO <sub>2e</sub> emitida considerando a medida de mitigação k.

## Cenários de longo prazo

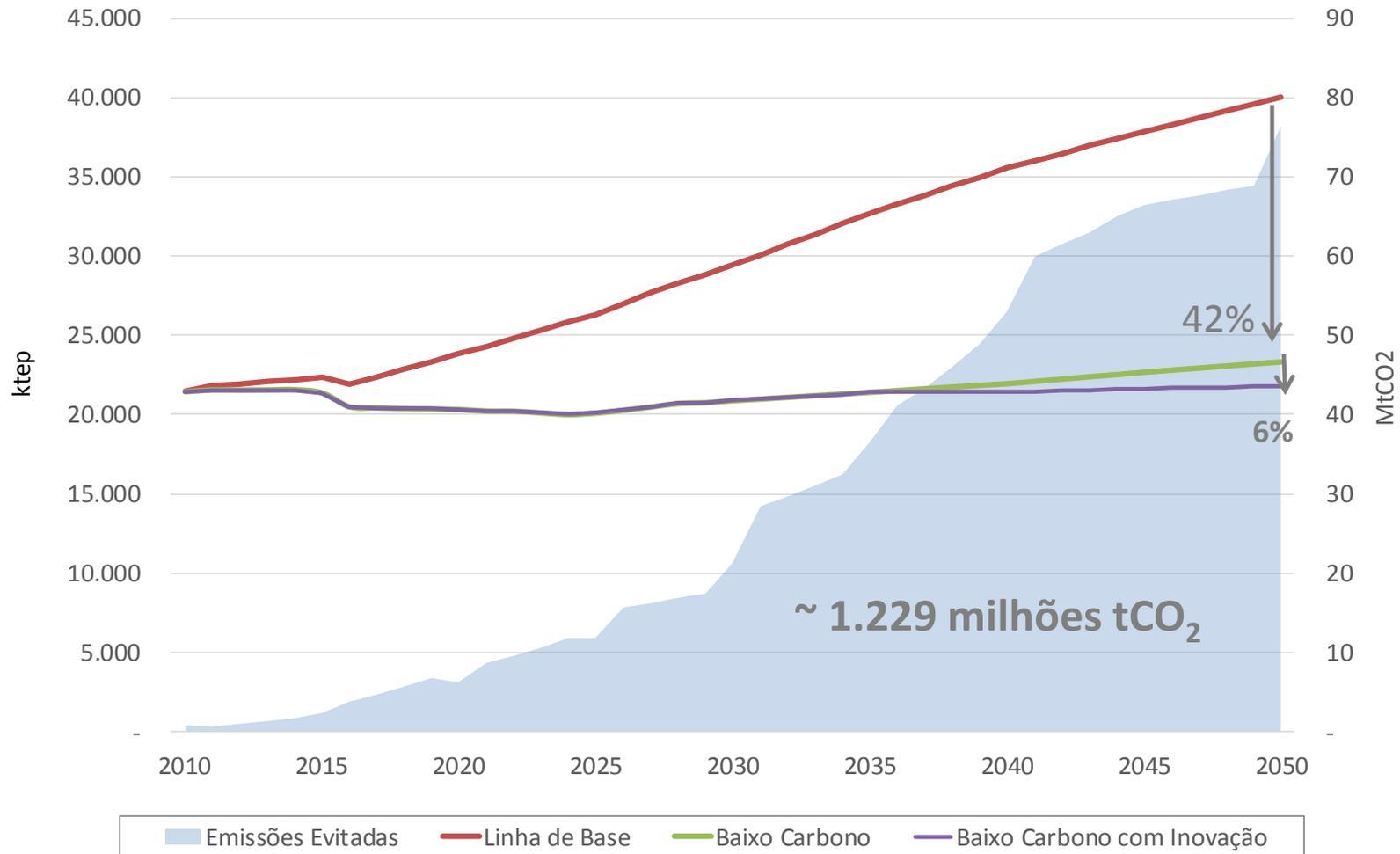
- Taxa de desconto: investimentos que devem ser trazidos a valor presente para fins de comparação.
  - Setor residencial
    - Valor da taxa real de desconto: 23,85% a.a.
  - Setor comercial/serviços
    - Valor da taxa real de desconto: 9,6% a.a.
  - Setor público
    - Valor da taxa real de desconto: 4,0% a.a.

## Cenários de longo prazo

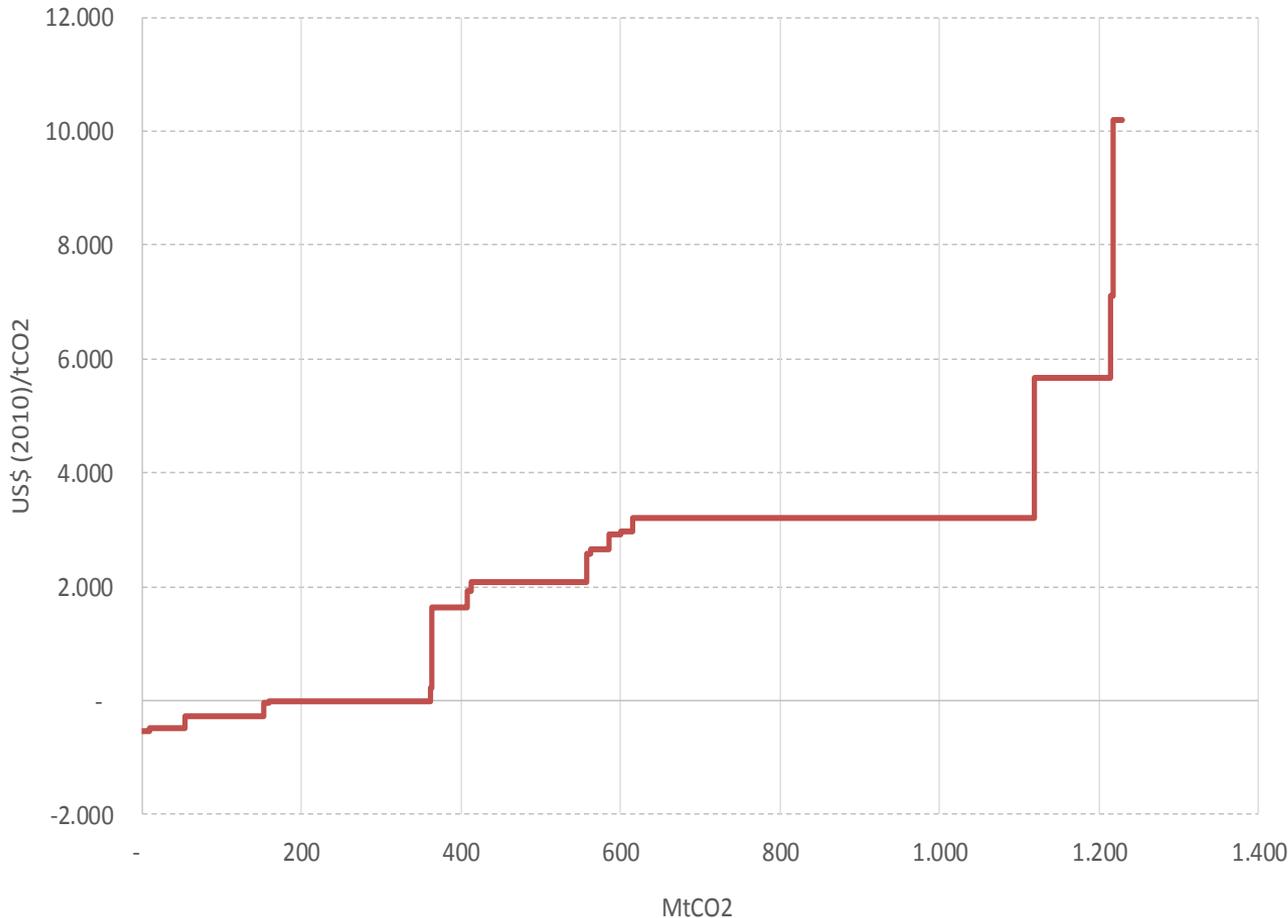
- Cenário de Baixo Carbono com Inovação
  - As novas edificações do Brasil alcançarão o conceito de *Zero Energy Buildings*
  - Ano-base: Lei de ZEB em 2025
    - Obrigatoriedade a partir de 2035 = sem consumo de energia do *grid*



## Consumo de Energia e Emissões de GEE



## Potenciais e custos de reduzir emissões de GEE (2015 a 2050)

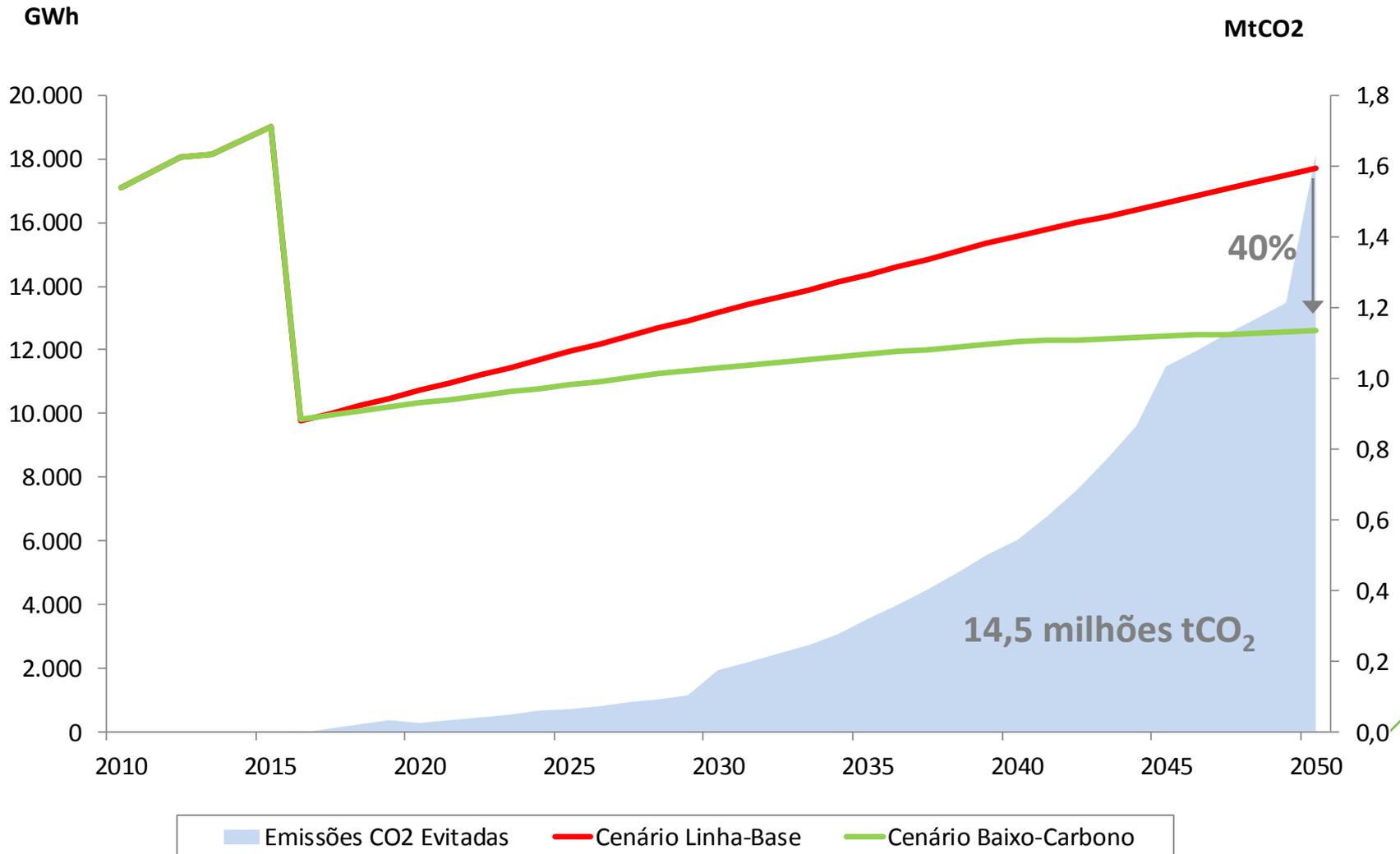


- Cerca de 30% do potencial com custo de abatimento negativo ou próximo de zero.
- Demais medidas possuem custos de abatimento altos (> 500 USD/tCO<sub>2</sub>)
- Fator de emissão do grid elétrico impacta o resultado.

Principais medidas: introdução de painéis fotovoltaicos; eficiência da climatização comercial; eficiência de fogões a GLP

# Potencial de abatimento de CO<sub>2</sub>

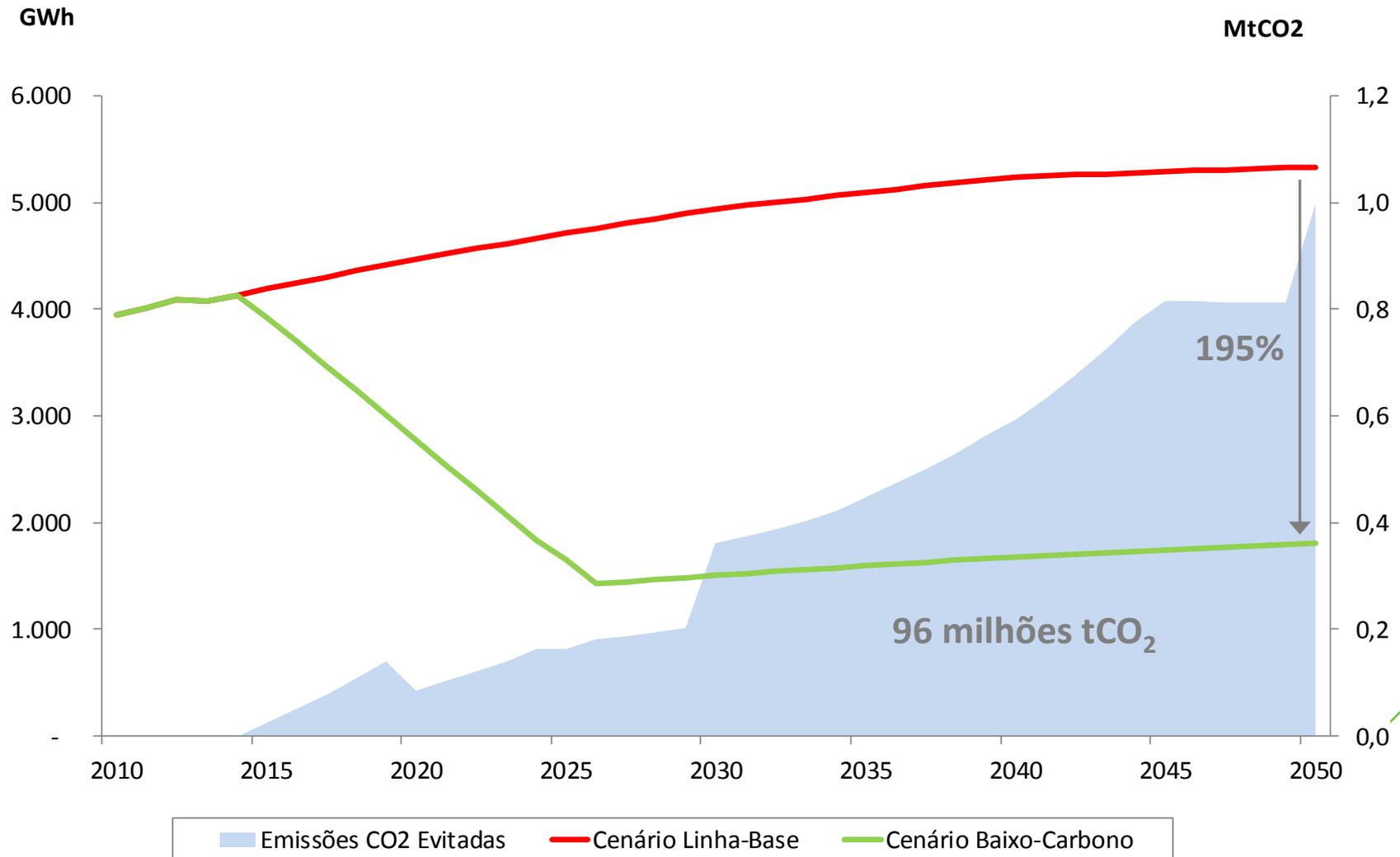
## Eficientização da Iluminação





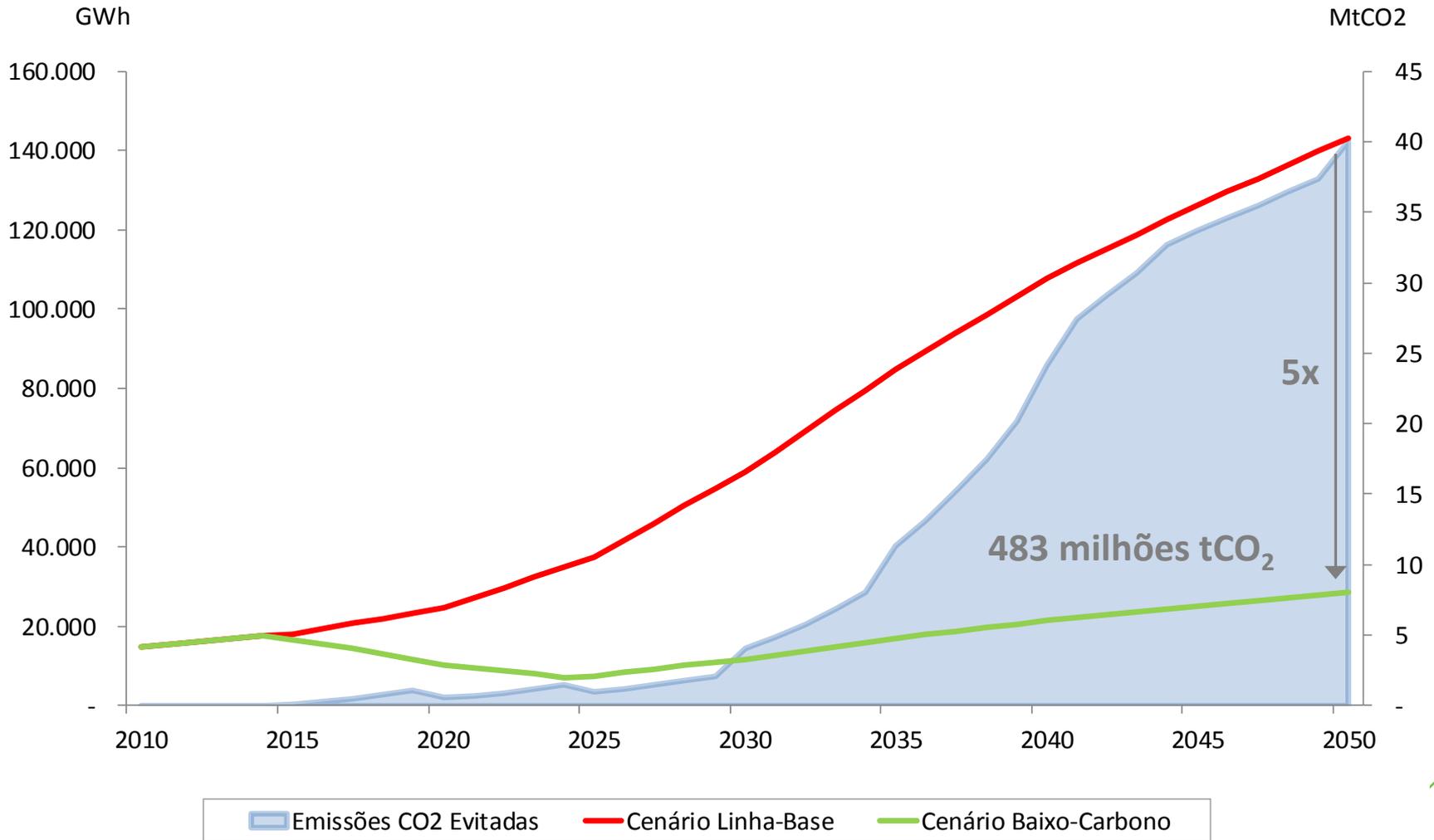
# Potencial de abatimento de CO<sub>2</sub>

## Eficientização da Refrigeração



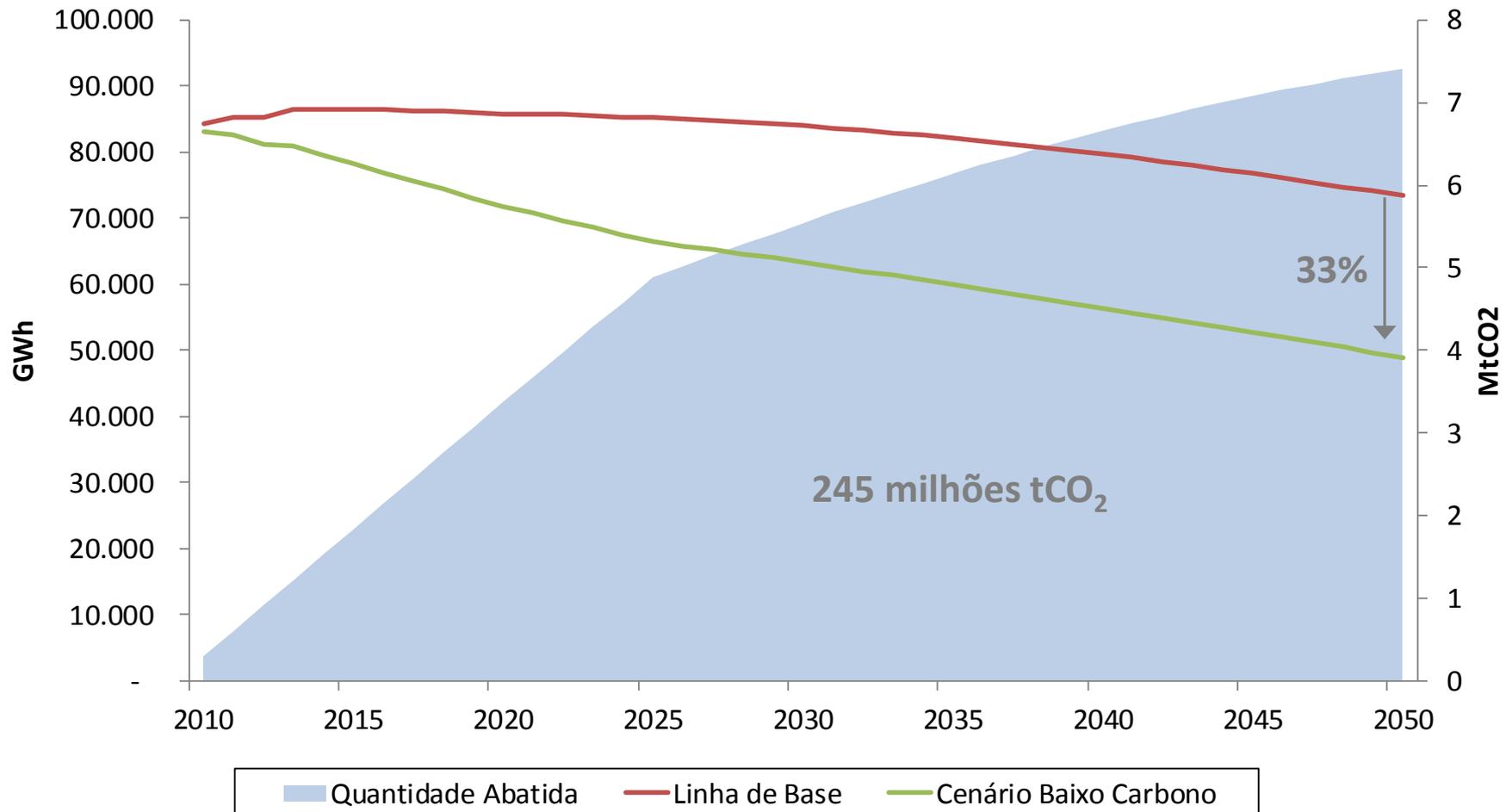
# Potencial de abatimento de CO<sub>2</sub>

## Eficientização da Climatização Comercial



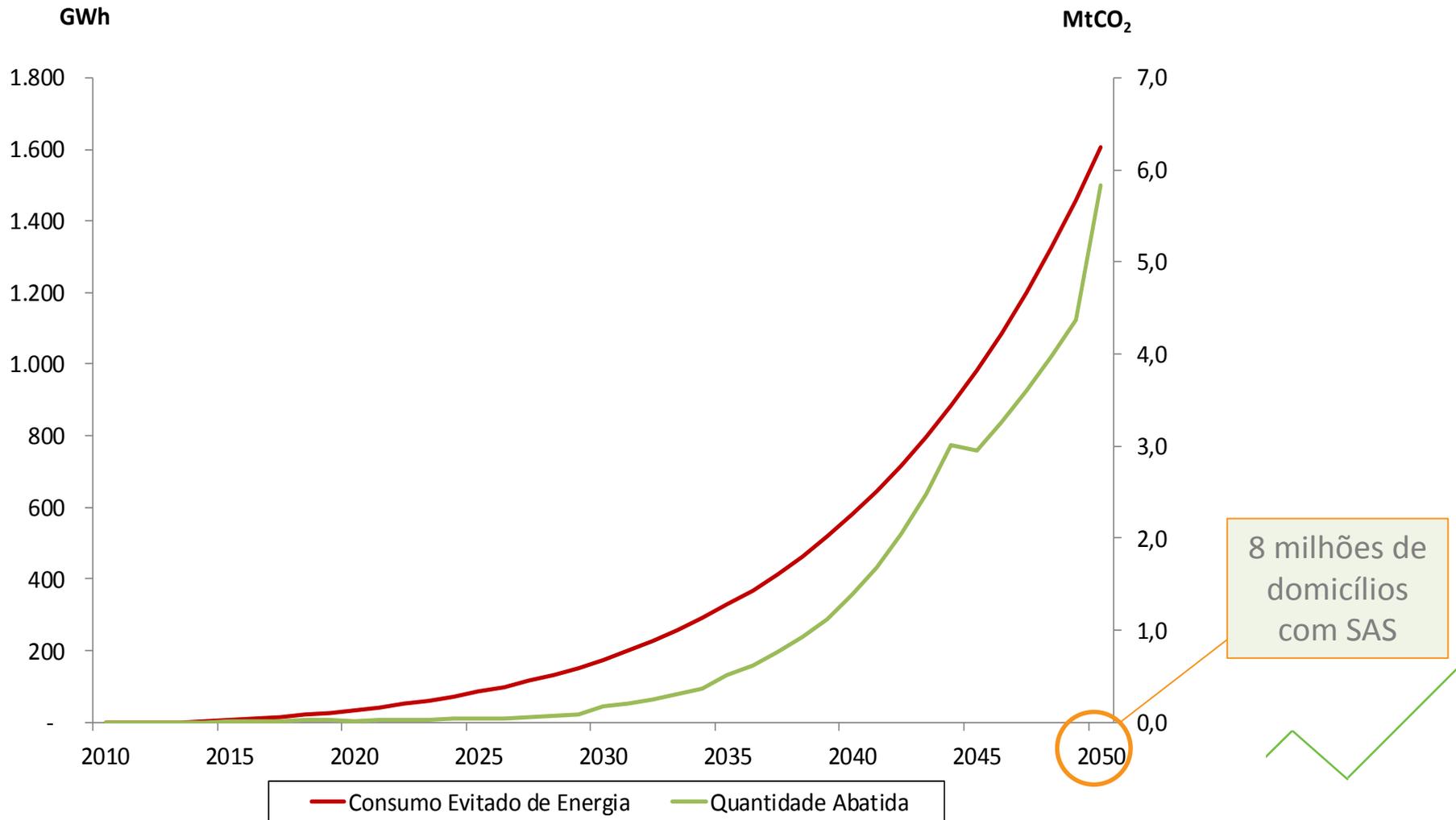
# Potencial de abatimento de CO<sub>2</sub>

## Eficientização da Cocção GLP e Substituição por GN



# Potencial de abatimento de CO<sub>2</sub>

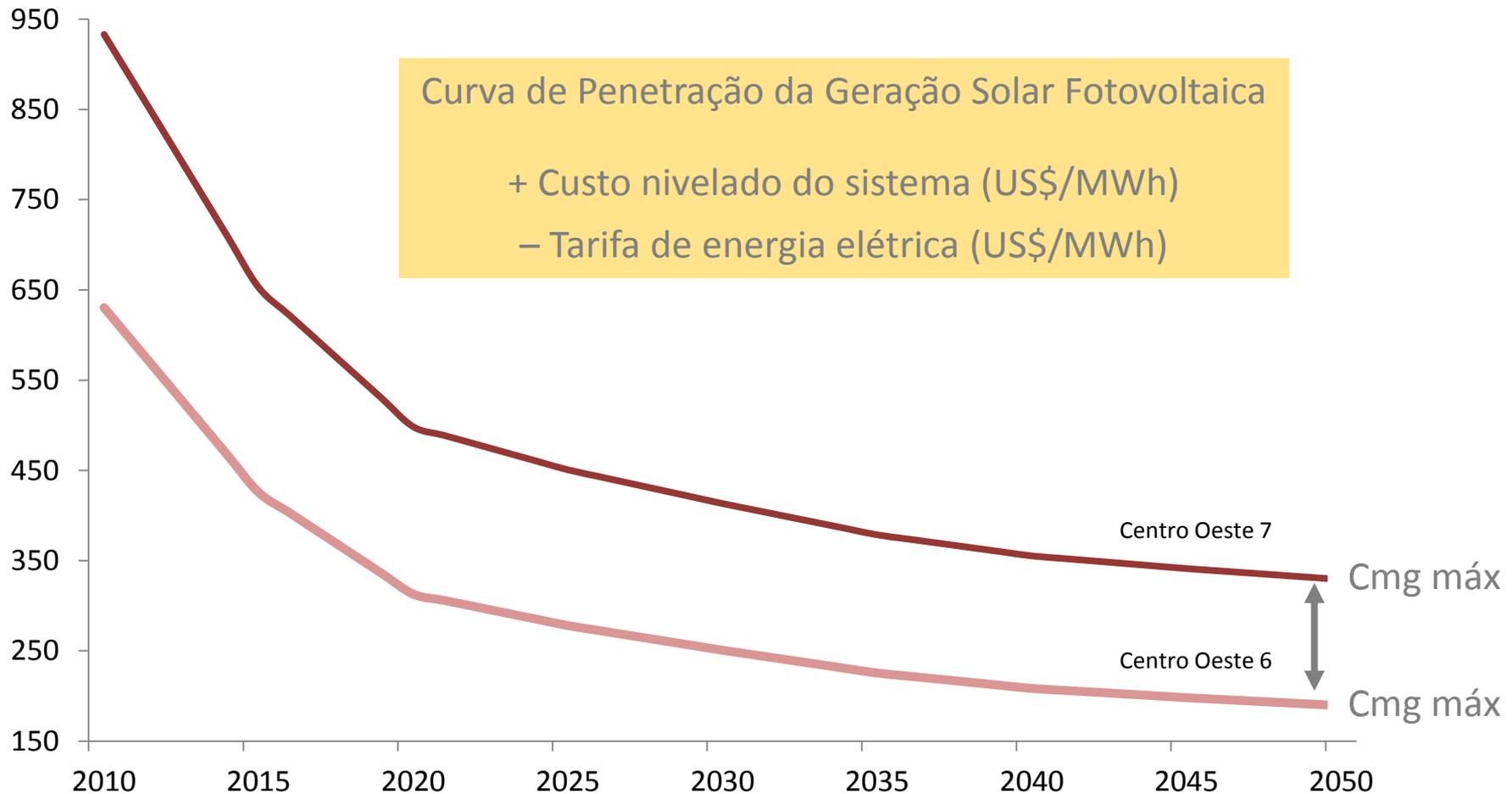
## Substituição de Chuveiros Elétricos por Sistema de Aquecimento Solar



# Geração Distribuída Solar Fotovoltaica

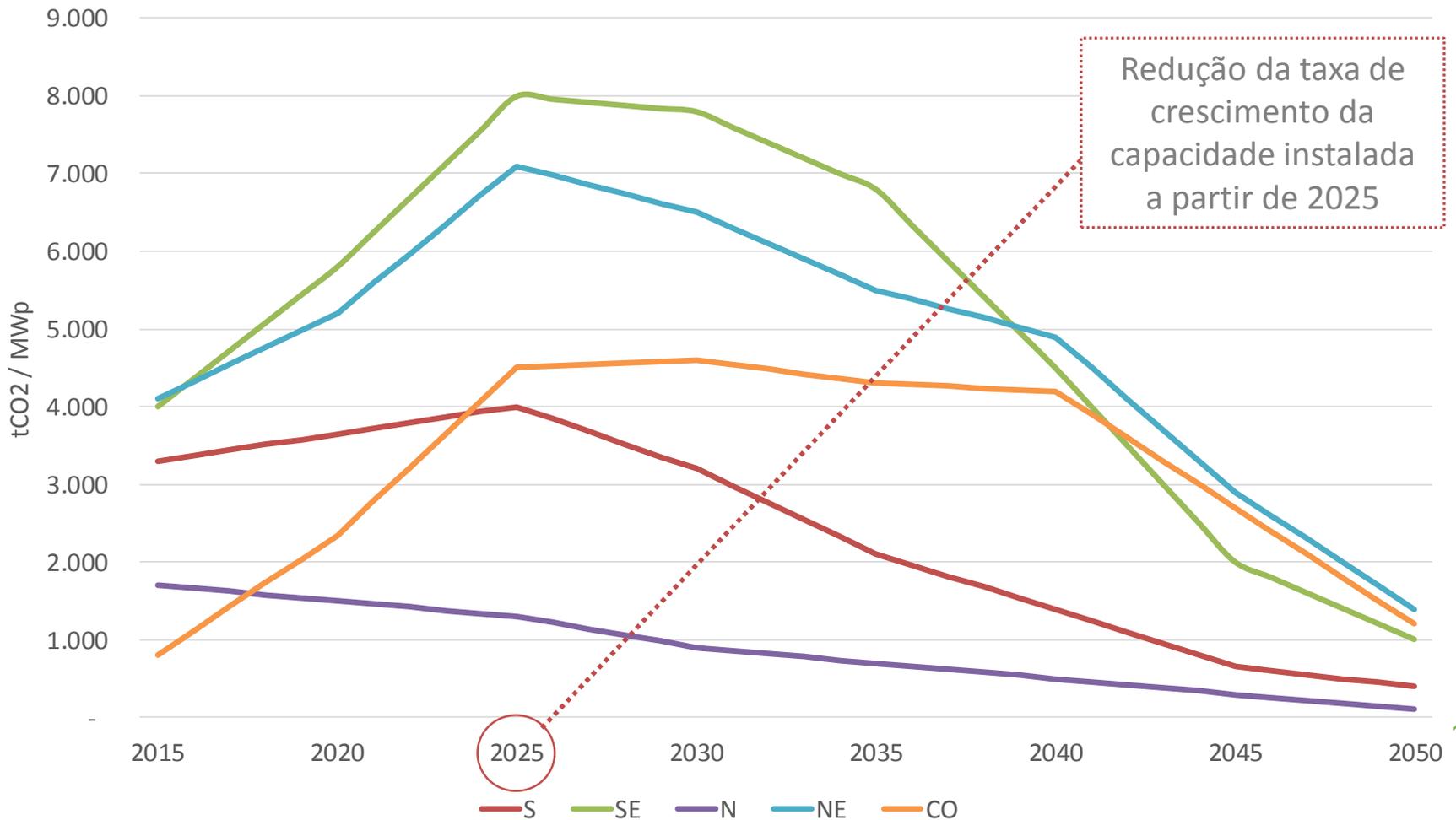
## Custo Marginal Máximo e Mínimo por sub-região

US\$ 2010/MWh

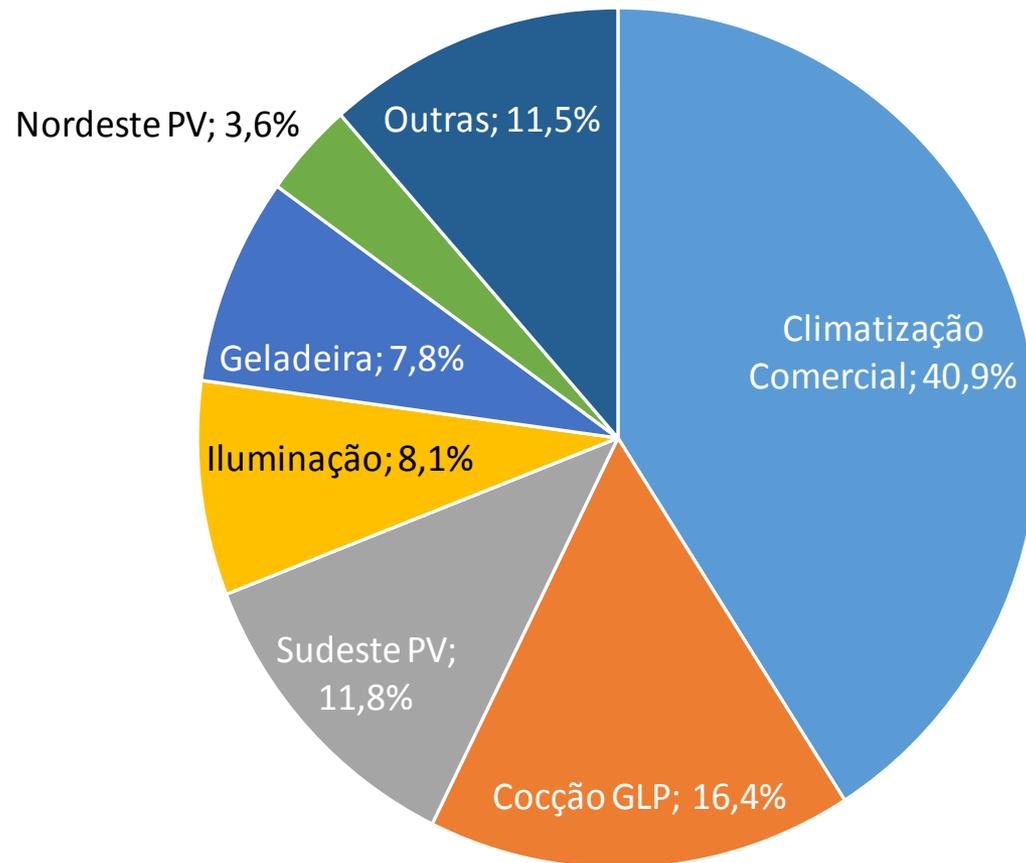


# Geração Distribuída Solar Fotovoltaica

## Potencial de Abatimento de CO<sub>2</sub>



## Participação no potencial de abatimento



### Maior potencial

- Climatização Comercial
- Cocção GLP
- Geração Distribuída (Nordeste e Sudeste)

## Barreiras à redução de emissões em edificações

- /// Heterogeneidade e fragmentação do setor
- /// Informação imperfeita
- /// Custos de transação
- /// Altas taxas de desconto
- /// Falta de acesso a financiamento
- /// Subsídios energéticos
- /// *Lock-in* tecnológico
- /// ...

**Entretanto, também devem ser considerados co-benefícios:**

- Econômicos
- Sociais
- Ambientais
- Energéticos



*Instrumentos de políticas públicas  
aplicáveis para a adoção das atividades de  
baixo carbono*

## Exemplos de instrumentos de políticas públicas

### 1. Econômicos

- . Investimento direto
- . Incentivos
- . Mercado

### 2. Informação e Educação

- . Etiquetagem
- . Treinamento
- . Fornecimento de Informação

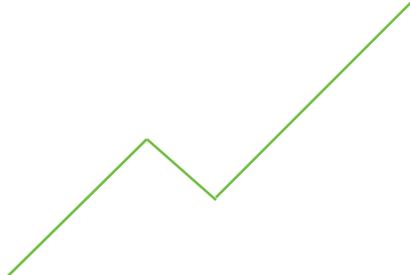
### 3. Regulatórios

- . Auditoria
- . Códigos e padrões

### 4. Tecnológicos

- . Programas de pesquisa
- . Implementação e difusão de tecnologia
- . Desenvolvimento tecnológico

### 5. Políticos e Institucionais

- . Criação de Instituições
  - . Planejamento Estratégico
  - . Projetos de Demonstração
- 

## Instrumentos de políticas públicas

### Eficientização da Climatização Comercial

- Aperfeiçoamento do programa de etiquetagem existente
  - Criação de subcategorias A+ (*top runner*)
- Financiamento especial / subsídios parciais para compra de eletrodomésticos eficientes



### Eficientização da Climatização Comercial

- Programa de etiquetagem
- Diretiva de compras públicas
- Auditorias energéticas no setor comercial e serviços
- Concurso de eficiência energética em HVAC
  - Inovação e Casos de Sucesso

## *Instrumentos de políticas públicas*

### Eficientização da Climatização Comercial

- Etiquetagem
  - Atores mobilizados: INMETRO (certificador)
  - Horizonte de implementação: 2020 ->
- Auditorias Energéticas
  - PROCEL Indústria e PROCEL GEM (Gestão Energética Municipal)
  - Atores mobilizados: Ministérios, Governos estaduais, Prefeituras, INMETRO
  - Horizonte de implementação: 2020 ->
- Incentivos Financeiros
  - Captação de recursos pelo BNDES FINEM e INOVA Energia (FINEP) junto a fundos internacionais (GCF, GEF, BID, entre outros)
  - Atores mobilizados: Ministérios e bancos de fomento
  - Horizonte de implementação: 2017 -> (projetos para a captação de recursos)  
2018/2019 -> (obtenção dos recursos)



# *Considerações Finais*

## Considerações Finais

- Atividades de baixo carbono no setor de edificações possuem, em geral, um custo alto e um potencial limitado, porém relevante, comparativamente a outros setores:
  - ✓ Emissões indiretas – fator de emissão do grid;
  - ✓ Altas taxas de desconto; e
  - ✓ Fator de utilização baixo.
- Maior atratividade → efficientização de equipamentos que consomem combustíveis fósseis
- Sistemas de Aquecimento Solar e Geração distribuída fotovoltaica são as medidas com maiores barreiras identificadas.
- Por outro lado, os custos estão dispersos entre vários agentes, reduzindo o fardo de investimentos de grande porte.

## Considerações Finais

- Políticas no Brasil têm grande foco em informação e educação, mas...
  - Padrões de eficiência brasileiros abaixo de outros países
  - Poucos instrumentos regulatórios e econômicos → mais efetivos
- Políticas sistêmicas, considerando o balanço de energia da edificação
- Políticas públicas devem considerar vários co-benefícios existentes
- Gestão pelo lado da demanda não deve ser desprezada
  - Bons hábitos de consumo são eficazes



Obrigado!

[rgaraffa@ppe.ufrj.br](mailto:rgaraffa@ppe.ufrj.br)