



XIV FÓRUM ACENDE BRASIL

# Eventos Climáticos Extremos e o Setor Elétrico Brasileiro



01

# Introdução

## Soluções de Adaptação

02

## Riscos Climáticos

03

## Soluções Adaptativas

04

## Introdução

### Soluções de Mitigação

05

## Emissões de Gases de Efeito Estufa

06

## Descarbonização

*Eventos climáticos extremos são raros em determinados locais e épocas do ano e têm características incomuns em termos de magnitude, localização, momento ou extensão.*

*Em 50 anos, o número de desastres naturais quintuplicou segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM).*

*Entre 1970 e 2021, foram reportados quase 12 mil desastres, com pouco mais de 2 milhões de mortes e US\$ 4,3 trilhões em danos.*

**A primeira parte do debate tem como objetivos:**

- 1) avaliar a vulnerabilidade do setor elétrico brasileiro a estes eventos; e**
- 2) mapear os desafios do país diante desta realidade**

01

**Introdução**  
Soluções de Adaptação

02

**Riscos Climáticos**

03

**Soluções Adaptativas**

04

**Introdução**  
Soluções de Mitigação

05

**Emissões de Gases de Efeito Estufa**

06

**Descarbonização**

Os efeitos das mudanças climáticas e os impactos de eventos extremos ao redor do mundo têm ganhado espaço nas manchetes nos últimos anos. A análise dos cenários climáticos destaca que **as perdas do PIB ligadas a riscos climáticos provavelmente aumentarão para a maioria das regiões** ao longo do tempo e em cenários de aquecimento mais dramáticos.

## Impactos das mudanças climáticas:

- Aumento da temperatura média;
- Diminuição da precipitação média;
- Aumento dos ventos em áreas áridas e litorâneas; e
- Elevação do nível do mar.

## Aumento da frequência de **eventos climáticos extremos**:

- Calor extremo;
- Ventos fortes;
- Tempestades;
- Inundações;
- Deslizamentos de terra;
- Aridez;
- Raios;
- Incêndios; e
- outros.

*“Nothing in the world is more dangerous than sincere ignorance and conscientious stupidity”*

Martin Luther King Jr.

Para que a humanidade tenha uma chance de pelo menos 50% de estabilizar o aquecimento global em 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, as emissões globais de Gases de Efeito Estufa (GEEs) precisam atingir seu pico entre 2020 e 2025 e cair 43% até 2030.

No entanto, observamos que desde 2010 tais emissões cresceram 12%. A janela de ação para redução da emissão de GEEs está cada vez menor e é **imperativo o esforço conjunto para que esse limite não seja ultrapassado e não sigamos por um caminho sem volta**.

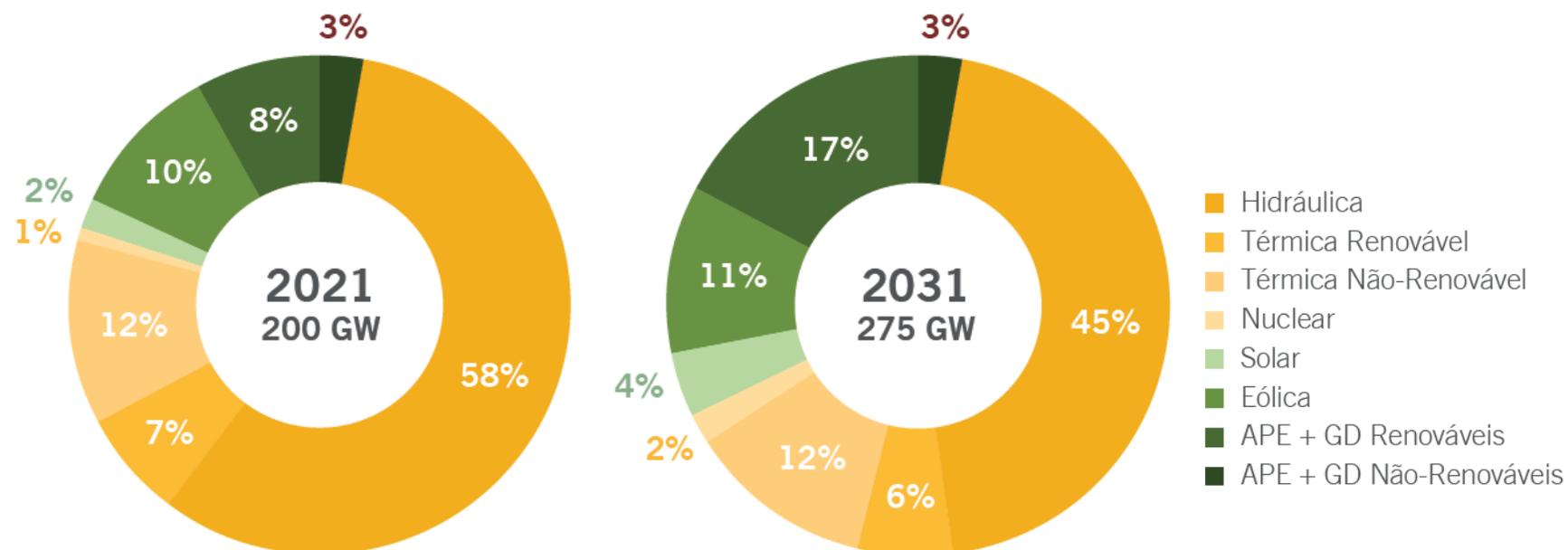
# MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

O Brasil destoa do restante do mundo pela **presença massiva de fontes renováveis na matriz elétrica**.

O nível de renovabilidade da matriz elétrica foi de **85% em 2021**, e estima-se que este valor se mantenha em 2031.

**Ironicamente, esta renovabilidade da matriz** – que é uma vantagem fundamental para redução da emissão de GEEs –  **aumenta a nossa vulnerabilidade às mudanças climáticas e aos eventos climáticos extremos.**

Evolução da Capacidade Instalada por Fonte



**85% da capacidade instalada no setor elétrico brasileiro é proveniente de fontes renováveis**

# Impactos das mudanças climáticas no Setor Elétrico Brasileiro



XIV FÓRUM ACENDE BRASIL

Os principais efeitos das mudanças climáticas são:

- 1 Aumento da temperatura média
- 2 Diminuição da precipitação média
- 3 Aumento dos ventos em terras áridas e litorâneas
- 4 Elevação do nível do mar

## Usinas Hidrelétricas

- Aumento de secas severas
- Redução dos recursos hídricos para geração de energia.

## Usinas Termelétricas

- Aumento do despacho em caso de necessidade de suprimento do déficit de geração em casos de escassez de chuva
- Aumento dos custos de combustível e, conseqüentemente, para o consumidor.

## Usinas Eólicas

- Mudanças na variabilidade horária, diária ou sazonal da velocidade do vento, impactando a energia produzida nas turbinas eólicas.

## Usinas Solares Fotovoltaicas

- Aumento da irradiação solar, propiciando aumento da geração solar fotovoltaica
- Aumento da temperatura média, resultando em redução do desempenho dos painéis fotovoltaicos.

## Transmissão e Distribuição de Energia

- Aumento da temperatura média provoca redução da capacidade de transmissão e distribuição
- Aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos, com maior vulnerabilidade e probabilidade de falhas e blecautes.

**Ironicamente, o alto grau de renovabilidade da matriz elétrica brasileira aumenta sua vulnerabilidade a eventos climáticos extremos**

01

## Introdução

Soluções de Adaptação

02

## Riscos Climáticos

03

# Soluções Adaptativas

04

## Introdução

Soluções de Mitigação

05

## Emissões de Gases de Efeito Estufa

06

## Descarbonização

# Medidas para lidar com as mudanças climáticas

Duas abordagens devem ser adotadas para lidar com as mudanças climáticas:

## Adaptativas

para reduzir os danos causados pelos efeitos das mudanças climáticas; e

## Mitigativas

para reduzir os gases de efeitos estufa que causam as mudanças climáticas.



*"Intelligence is the ability to adapt to change"*

Stephen Hawking

# Exemplo de Soluções Adaptativas

Setor	IMPACTO	POTENCIAIS VULNERABILIDADES	EXEMPLOS DE OPÇÕES DE ADAPTAÇÃO
Geração hidrelétrica	Mudança na precipitação	Amplificada pelas condições de escoamento, a mudança resultante na disponibilidade de água determina se a produção de energia é reduzida ou aumentada.	- Aumentar a capacidade de armazenamento Ajustar o cronograma de liberação de água para maximizar a geração.
	Baixa precipitação e alta temperatura	Ambos os eventos reduzem a quantidade de água armazenada.	- Aumentar a capacidade de armazenamento, se possível, para reter mais água de altas vazões.
Geração Eólica	Extremos de velocidade do vento (mudança repentina de direção, rajada e cisalhamento)	Os ventos extremos aumentam a carga estrutural e ameaçam a integridade estrutural das turbinas eólicas e podem causar fadiga e danos aos componentes da turbina, levando à redução na produção de energia.	- Melhorar o projeto da turbina e utilizar estruturas reforçadas para suportar condições extremas de vento. - Usar a tecnologia LIDAR13 (anemômetro a laser) para detectar as variações nas características da massa de ar.
Geração Solar	Temperaturas médias mais altas	Temperaturas médias mais altas melhoram a eficiência do aquecimento solar (especialmente em regiões mais frias), mas reduzem o desempenho de conversão dos módulos fotovoltaicos.  A exposição ao calor no longo prazo provoca um envelhecimento precoce do material.	- Dependendo da relação entre o valor da eletricidade perdida e os custos das opções de resfriamento, pode justificar a instalação de resfriamento para reduzir as perdas de eficiência.
Transmissão e Distribuição	Aumento da frequência e intensidade de tempestades	Chuvas fortes podem causar faltas por descargas elétricas nos isoladores e curto-circuito nos disjuntores.	- Melhorar o projeto dos isoladores. - Aumentar a frequência das manutenções dos componentes sob risco.
	Mudança no vento (densidade de energia eólica)	Picos de velocidade de vento extremos podem causar danos mecânicos às torres, linhas e postes. O movimento das linhas energizadas pode provocar descargas elétricas. A queda de árvores e destroços pode causar danos mecânicos indiretos e curtos-circuitos.	- Ajustar padrões de carga de vento em projetos futuros. - Redefinir rotas das linhas em áreas abertas e ao longo de estradas. - Programar poda regular das árvores. - Investir em ferramentas de previsão de tempestades e furacões. - Considerar o uso de linhas subterrâneas.

Uma lista exaustiva contendo os outros impactos possíveis e as fontes/elos da cadeia está disponível no **White Paper #29**.

## 29

**WHITE PAPER**  
INSTITUTO ACENDE BRASIL  
EDIÇÃO Nº 29 / OUTUBRO DE 2023

Os White Papers do Instituto Acende Brasil consolidam análises e recomendações aprofundadas sobre temas do Setor Elétrico Brasileiro e visam à promoção de discussões qualificadas sobre as seguintes dimensões setoriais: Agência Reguladora, Governança Corporativa, Impostos e Energias, Linhas de Energia e Transmissão, Meio Ambiente e Sociedade, Oferta de Energia, Rentabilidade, Tarifa e Regulação. Para saber mais sobre o Instituto Acende Brasil, acesse [www.acendebrazil.com.br](http://www.acendebrazil.com.br).

### ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO PARA EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

Os efeitos das mudanças climáticas e os impactos de eventos extremos ao redor do mundo têm ganhado espaço nas manchetes nos últimos anos e as previsões feitas pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática) afirmam que o cenário tende a se agravar. Com a janela de ação para combater o aquecimento global se fechando cada vez mais rapidamente, torna-se fundamental assegurar o cumprimento das metas globais para redução de emissões de GEEs (Gases de Efeito Estufa), assim como elaborar planos de adaptação para os desafios futuros, que certamente virão. O mundo vive hoje uma transição energética de fontes baseadas em combustíveis fósseis para fontes renováveis. O setor elétrico global está fortemente associado às questões climáticas, seja pela sua relevância nas emissões de GEEs na produção e uso de energia, seja pela sua vulnerabilidade às alterações do clima. Mas a realidade brasileira é diferente de boa parte do mundo, pois o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) é hoje responsável por apenas 2,4% das emissões totais de GEEs no país, uma vez que a matriz elétrica nacional conta com mais de 80% de participação de fontes renováveis. Ironicamente, esse alto grau de renovabilidade que é observado na matriz elétrica brasileira aumenta a nossa vulnerabilidade diante dos eventos climáticos extremos. Portanto, as políticas e as discussões climáticas serão determinantes para o planejamento energético mundial e nacional, sendo que o setor global de energia elétrica enfrentará um duplo desafio nas próximas décadas: (1) ser transformado em um sistema de baixo carbono; e (2) adaptar-se às mudanças climáticas e seus efeitos para garantir que o fornecimento de eletricidade permaneça seguro e confiável. Com base no contexto acima, este White Paper: (a) explora a vulnerabilidade do setor elétrico diante dos eventos climáticos extremos previstos, inclusive considerando as propostas de adaptação que podem ser implementadas para conferir maior resiliência ao SEB; e (b) descreve as estratégias rumo à meta global net zero, com seus desafios e oportunidades, incluindo os desdobramentos do processo de descarbonização por meio da precificação do carbono. *"It is neither the strongest nor the most intelligent of the species that survives. It is the one that is the most adaptable to change."* *"Não é o mais forte nem o mais inteligente que sobrevive, mas o que melhor se adapta às mudanças"* (Charles Darwin, naturalista inglês que formulou a teoria da evolução das espécies)

#### SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	2	4.3 Propostas de soluções adaptativas	19
2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E OS ACORDOS INTERNACIONAIS	3	5 RUMO À DESCARBONIZAÇÃO	25
3 O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	8	5.1 Precificação de carbono	25
3.1 Contextualização	8	5.2 "Net zero"	29
3.2 Expansão da matriz e perfil da operação	10	5.3 Desafios globais da descarbonização	35
3.3 Emissões de GEEs	11	5.4 Desafios e oportunidades nacionais de descarbonização	36
4 RISCOS CLIMÁTICOS	13	6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
4.1 Potenciais impactos	13	7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
4.2 Vulnerabilidades do setor elétrico brasileiro	17		

# Promoção da Resiliência do Setor Elétrico

A resiliência do setor elétrico engloba a capacidade de antecipar, preparar e adaptar-se a condições de mudança do clima e resistir, responder e recuperar-se rapidamente de interrupções por meio de planejamento adaptável, holístico e de soluções técnicas.

O *National Renewable Energy Laboratory* (2019) propõe que o planejamento da resiliência do setor elétrico se dê em seis etapas:

## 1. Envolver as partes interessadas

Incluir tomadores de decisão (*stakeholders*), empresas e governos para aprimorar as estratégias, divulgá-las e garantir a adesão;

## 2. Coletar dados

Identificar sistemas e recursos de energia necessários, lacunas e vulnerabilidades e impactos provenientes de falhas no sistema;

## 3. Avaliar ameaças e vulnerabilidades

Definir e avaliar as ameaças e vulnerabilidades, seus impactos e probabilidades de ocorrência;

## 4. Desenvolver estratégias

Identificar e priorizar soluções para abordar vulnerabilidades e incorporar orientações aos planos existentes do setor elétrico;

## 5. Aprovar políticas de implementação

Adotar políticas para obter todos os benefícios das estratégias de resiliência do setor elétrico e coordenar sua implementação;

## 6. Avaliar

Definir quais ações são eficazes e dar suporte para atualizações periódicas.

1

Constituir um **Fundo de Contingência** para que, na ocorrência de eventos climáticos extremos, essa reserva possa ser utilizada para lidar com situações imprevistas ou emergenciais e possibilitar o atendimento à população e a recomposição da infraestrutura atingida.

2

Estabelecer um **Plano Nacional de Adaptação** com metas e indicadores definidos e mensuráveis para auxiliar no acompanhamento e evolução das ações.

3

Estruturar um **Plano de Ação** para reduzir o tempo de resposta e a vulnerabilidade do país aos riscos climáticos.

01

## **Introdução**

Soluções de Adaptação

02

## **Riscos Climáticos**

03

## **Soluções Adaptativas**

04

## **Introdução**

Soluções de Mitigação

05

## **Emissões de Gases de Efeito Estufa**

06

## **Descarbonização**



*As Conferências das Partes têm sido o principal mecanismo de debate científico e político sobre as causas das mudanças climáticas globais.*

*Apesar destes esforços, a última década teve o maior crescimento de emissões da história humana, com 9,1 bilhões de toneladas a mais do que na década anterior.*

*Como resultado, os efeitos das mudanças climáticas e impactos de eventos extremos têm se agravado.*

Observatório do Clima (2023). Relatório Síntese de 2023.

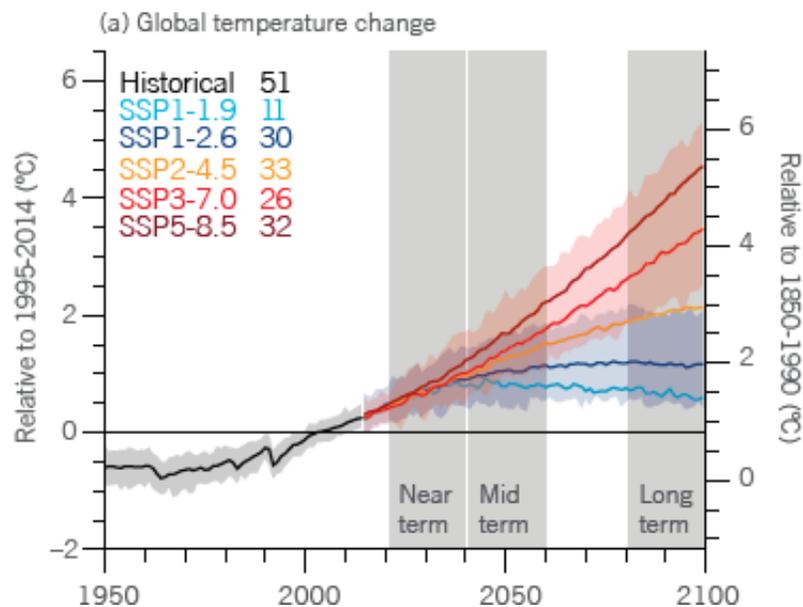
**A segunda parte do debate tem como objetivo avaliar alternativas de redução de emissões de gases de efeito estufa do setor elétrico brasileiro e os seus desafios**

# METAS DE REDUÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) criou em seu 6º Relatório (AR6) os chamados **Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (Shared Socio-Economic Pathways)**, que cobrem trajetórias de emissões de Gases de Efeito Estufa.

Foram elaborados 5 SSPs :

## Mudanças na temperatura global nos cenários do AR6



**SSP5-8.5** é o cenário de altas emissões (pessimista), sem política climática adicional. As emissões de CO<sub>2</sub> praticamente dobram em relação aos níveis atuais até 2050.

**SSP3-7.0** é o cenário de referência intermediário-a-alto resultante de nenhuma política climática adicional. As emissões de CO<sub>2</sub> praticamente dobram em relação aos níveis atuais até 2100.

**SSP2-4.5** desvia-se ligeiramente de um cenário de referência “sem política climática adicional”, resultando em uma melhor estimativa de aquecimento em torno de 2,7°C até o final do século 21 em relação a 1850-1900.

**SSP1-2.6** é o cenário onde o aquecimento permanece abaixo de 2,0°C em relação a 1850-1900 com emissões *net zero* de CO<sub>2</sub> na segunda metade do século.

**SSP1-1.9** é o único cenário do IPCC que se alinha com a meta do Acordo de Paris para limitar o aumento médio da temperatura global abaixo de 2°C. Mantém o aquecimento em 1,5°C acima de 1850-1900 em 2100.

Dentre as estratégias de redução de emissões, metade delas custa menos de US\$ 20 a tonelada, e no setor de energia elétrica **há potencial de redução a custo negativo com a substituição de combustíveis fósseis com fontes renováveis (eólica e solar) para a geração de energia elétrica.**

01

## Introdução

Soluções de Adaptação

02

## Riscos Climáticos

03

## Soluções Adaptativas

04

## Introdução

Soluções de Mitigação

05

# Emissões de Gases de Efeito Estufa

06

## Descarbonização

# EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA BRASILEIRA

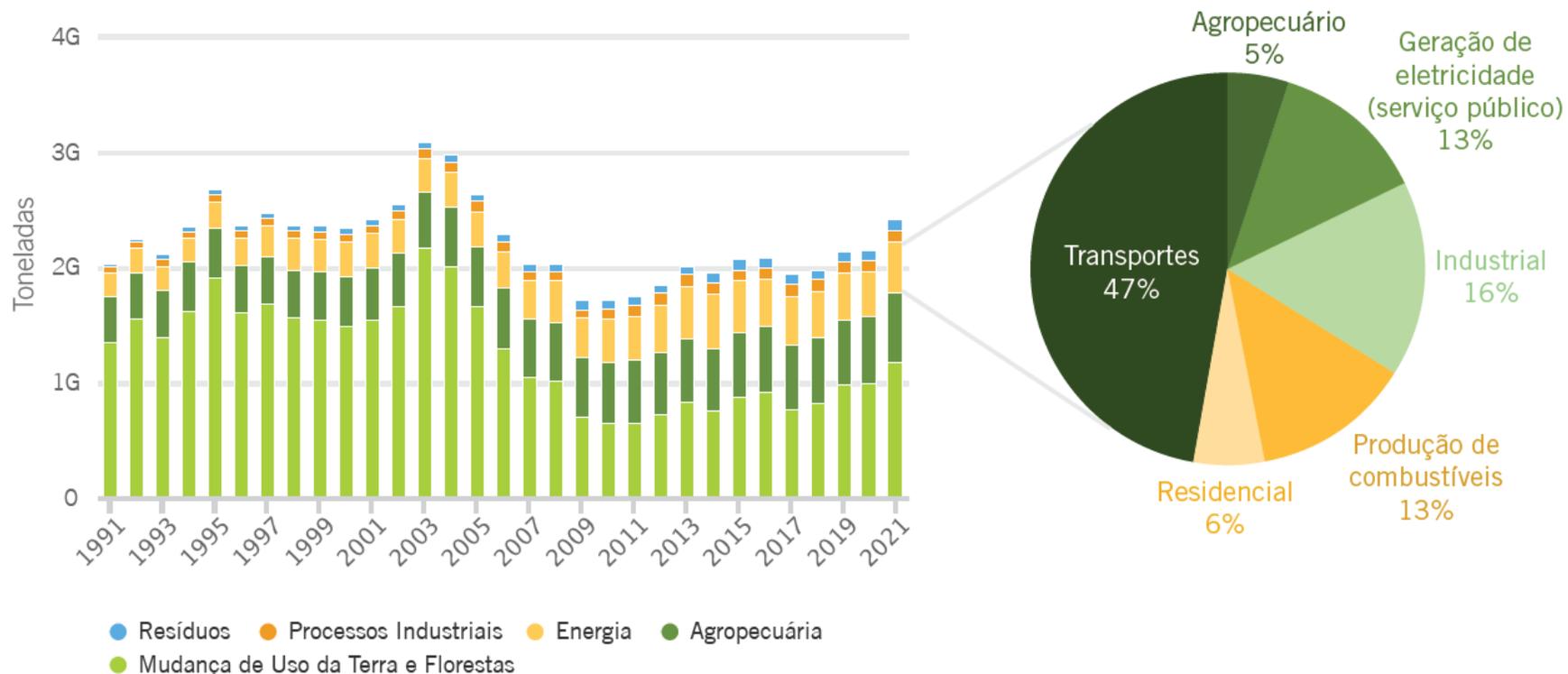
O Brasil integra o grupo dos 10 maiores emissores de GEEs do mundo.

No entanto, diferentemente das grandes economias mundiais, cujas emissões concentram-se no setor de energia, **a mudança do uso da terra e a agropecuária respondem por quase 75% das emissões brasileiras.**

O setor de energia elétrica brasileiro se destaca por sua matriz elétrica 85% renovável, realidade verificada em poucos países do mundo.

**O setor elétrico brasileiro responde por apenas 2,4% das emissões totais do país.**

## Emissões de Gases de Efeito Estufa Brasileiras



*“Nothing in life is to be feared, it is only to be understood.  
Now is the time to understand more, so that we may fear less”*

01

## Introdução

Soluções de Adaptação

02

## Riscos Climáticos

03

## Soluções Adaptativas

04

## Introdução

Soluções de Mitigação

05

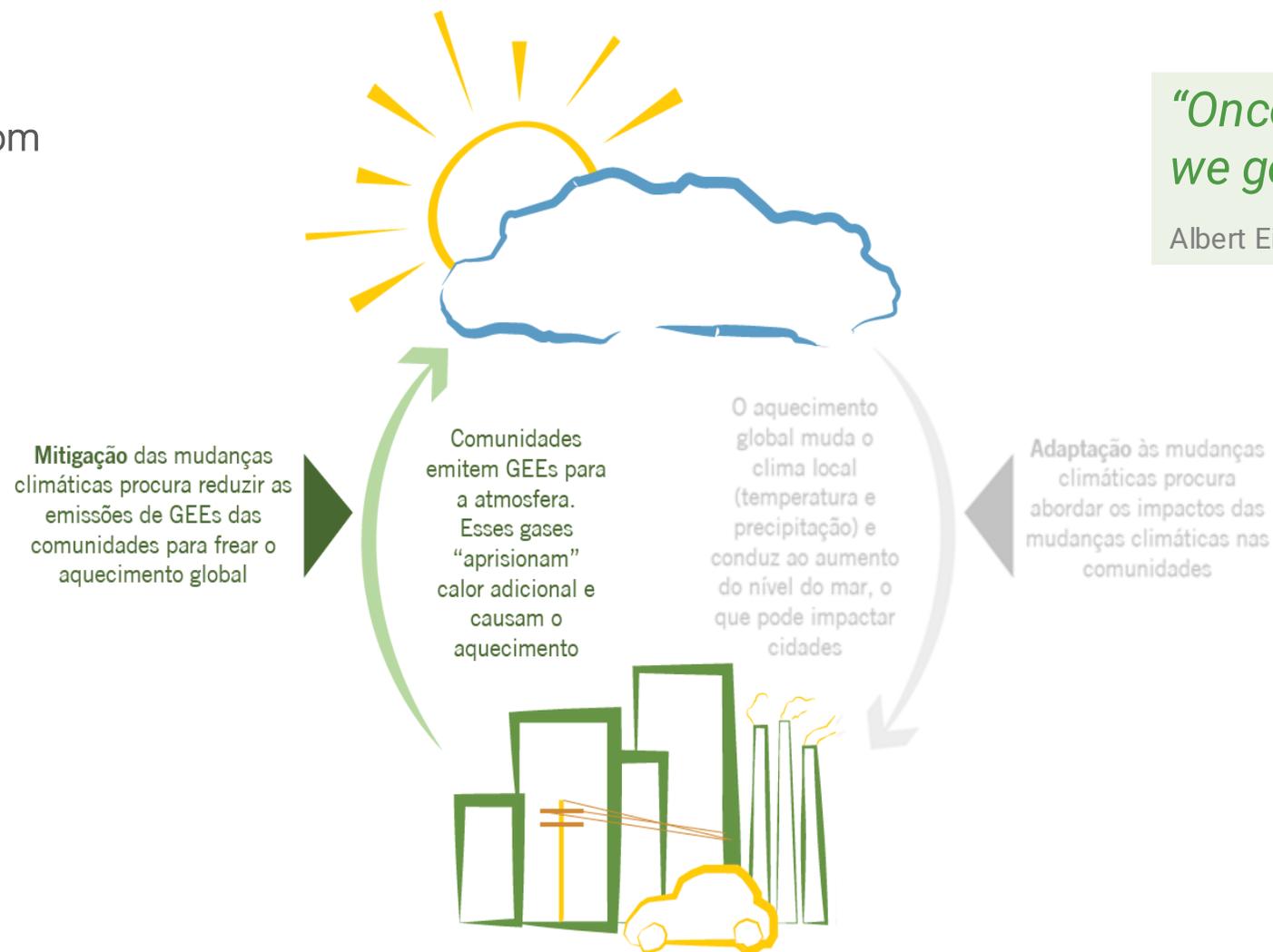
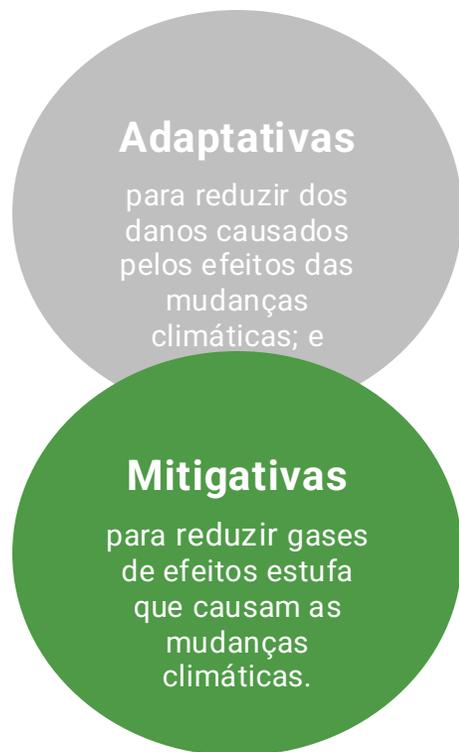
## Emissões de Gases de Efeito Estufa

06

## Descarbonização

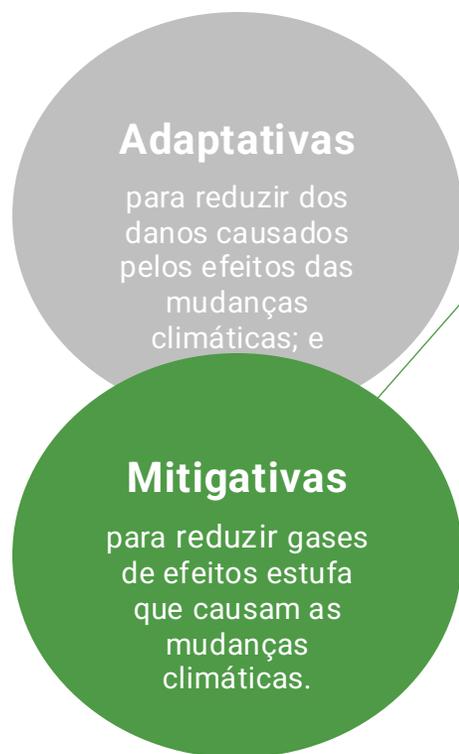
# Medidas para lidar com as mudanças climáticas

Duas abordagens devem ser adotadas para lidar com as mudanças climáticas:



*“Once we accept our limits, we go beyond them.”*

Albert Einstein



## A descarbonização envolve duas estratégias interrelacionadas



### Precificação de carbono

- Tributo sobre carbono aplicado à emissões de GEEs ou ao carbono presente em combustíveis fósseis; e
- Sistema de Comércio de Emissões – “*Cap and Trade*” e “*Baseline and Credit*”



### Compromisso *Net Zero*

## Precificação de carbono

A precificação de carbono, do ponto de vista da teoria econômica, visa à **internalização dos custos relacionados à emissão de GEEs** (a externalidade ambiental), que atualmente tem seus custos arcados pela sociedade e não pelo responsável pelas emissões.

A precificação é derivada do princípio “poluidor-pagador” e tem como um dos objetivos impulsionar a diminuição das emissões de carbono por meio da incorporação de tais emissões nos custos dos produtos e serviços.

### Tributo sobre carbono (*Carbon tax*):

- Preço da emissão (R\$/tCO<sub>2</sub>eq) definido pela *Autoridade*; e
- *Mercado* define a quantidade de emissões;

### Sistema de Comércio de Emissões (SCE):

- Teto de emissões definido pela *Autoridade*; e
- *Mercado* define o preço das emissões.

- **Dá certeza sobre os custos e reduz riscos para os agentes**
- **Não garante o resultado ambiental almejado.**

- **Gera volatilidade de preços e riscos aos agentes; e**
- **Assegura os resultados ambientais.**

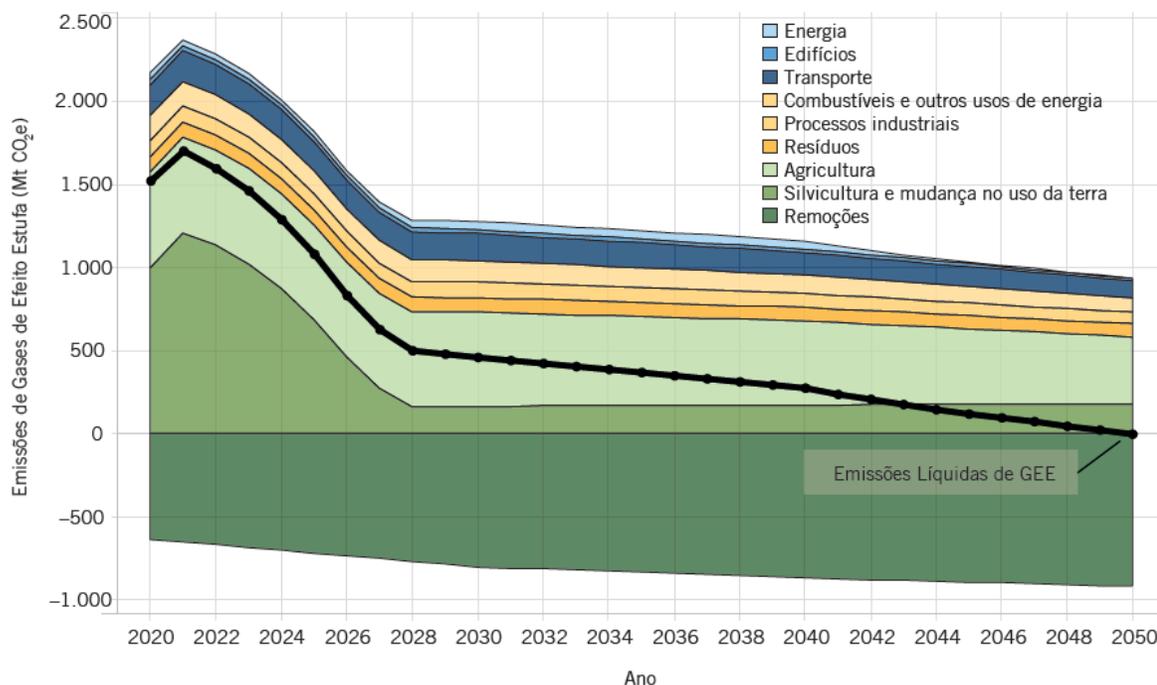
A precificação de carbono dá a flexibilidade necessária aos entes regulados, que podem escolher entre:

- pagar o preço de carbono ou
- reduzir suas emissões

dependendo do custo marginal de abatimento e do preço de mercado.

# Compromisso Net Zero

## Emissões e remoções de GEEs do Brasil, por setor, de 2020 a 2050



O Banco Mundial (2023) avaliou três principais áreas de intervenções para o Brasil:

- 1 Contenção do desmatamento ilegal
- 2 Transição para energia, infraestrutura e transporte mais “verdes” e resilientes para indústrias e setores de transformação
- 3 Viabilização de cidades resilientes e de baixo carbono

Banco Mundial (2023). Relatório sobre Clima e Desenvolvimento para o País (Brasil).

## Oportunidades

1

Possuir uma matriz diversificada e com alto grau de renovabilidade, beneficiando o setor de energia brasileiro em um eventual mercado de carbono internacional **como potencial gerador de créditos de carbono**

2

Iniciativas de **precificação de carbono em nível nacional permitiriam uma maior efetividade na mitigação de emissões**, especialmente quando agregados setores com maior potencial de redução de GEE (transporte, agricultura, uso da terra e indústria)

## Desafios

1

Reduzir as emissões de GEEs no setor elétrico - que possui 85% de fontes renováveis, estando próximo do limite de renovabilidade de sua matriz;

2

Reduzir – e eventualmente eliminar – o desmatamento ilegal;

3

Reduzir as emissões do setor de transportes;

4

Melhorar a eficiência energética e implementar sistemas de armazenamento de energia;

5

Eliminar o carvão mineral da matriz elétrica brasileira;

6

Mapear os impactos socioambientais da transição energética;

7

Definir políticas e incentivos para estimular o investimento em tecnologias limpas e sustentáveis no setor energético e fortalecer a pesquisa e desenvolvimento nestas tecnologias; e

8

Planejar uma transição justa do ponto de vista ambiental, econômico e social.



XIV FÓRUM ACENDE BRASIL

# Eventos Climáticos Extremos e o Setor Elétrico Brasileiro



GOVERNANÇA  
CORPORATIVA



IMPOSTOS E  
ENCARGOS



OFERTA DE  
ENERGIA



MEIO AMBIENTE  
E SOCIEDADE



AGÊNCIAS  
REGULADORAS



LEILÕES



RENTABILIDADE



TARIFA E  
REGULAÇÃO