

## Eventos Climáticos Extremos e a Resiliência do Setor Elétrico

XIV Encontro de Conselhos de Consumidores – CPFL Piratininga  
*Jundiaí (SP)*  
*29 Out 2026*

***Claudio J. D. Sales***  
***Presidente***  
***Instituto Acende Brasil***

## Qual a resiliência do setor elétrico brasileiro diante de eventos climáticos extremos?

*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.*



## RISCOS CLIMÁTICOS

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 ou aumento 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.

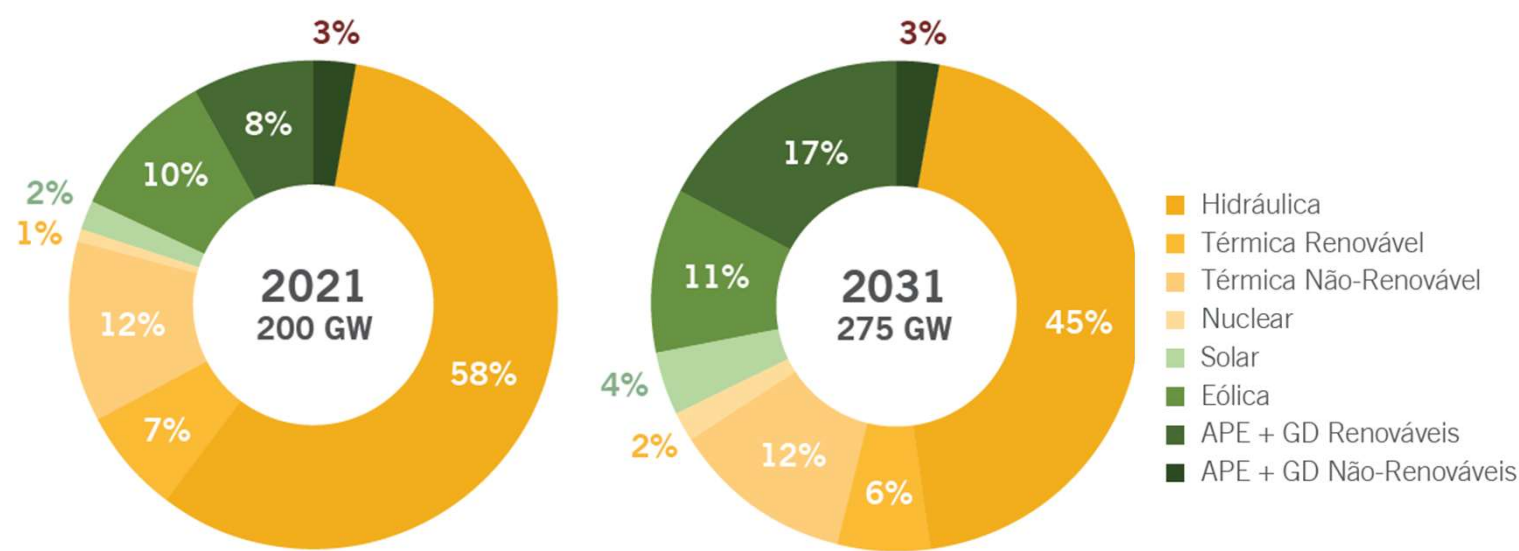
## MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

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

O Brasil destoa do resto 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

# Impactos das mudanças climáticas no Setor Elétrico Brasileiro

1 Aumento da **temperatura** média

2 Diminuição/aumento 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, consequentemente, 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.

## Medidas para lidar com as mudanças climáticas

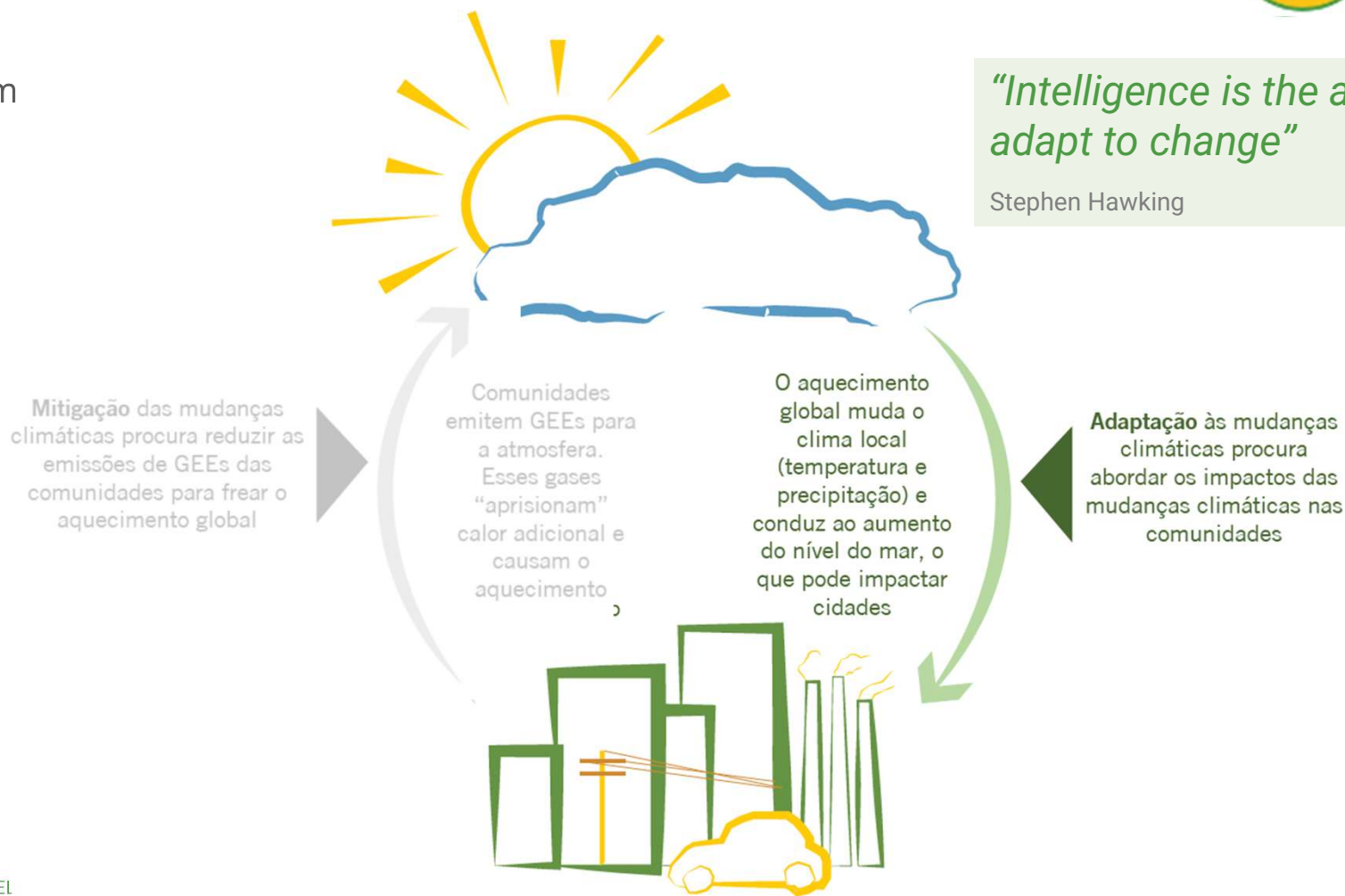
Duas abordagens devem ser adotadas para lidar com as mudanças climáticas:

### 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<br>- 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.<br>- 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.<br><br>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.<br>- 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.<br>- Redefinir rotas das linhas em áreas abertas e ao longo de estradas.<br>- Programar poda regular das árvores.<br>- Investir em ferramentas de previsão de tempestades e furacões.<br>- Considerar o uso de linhas subterrâneas. |

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



## 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 6 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.

## Desafios e Políticas Públicas

A

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.

B

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

C

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

## Reflexões: Resiliência a qualquer custo?

1

### **Ponderar custo x benefício de ações e planos de resiliência**

Ex: Todo investimento tem impacto tarifário (Ex: enterramento de rede)

2

### **Aprimorar e atualizar padrões de engenharia para enfrentar novos patamares de frequência e intensidade de eventos extremos**

Ex: Ajustar padrões de carga de vento em projetos futuros de linhas e torres

3

### **Buscar cooperação entre concessionárias e poder público**

Ex: Interferência política dá boas imagens para o Instagram do prefeito, mas não resolvem o problema do consumidor

4

### **Investir em P&D para aprimorar tecnologias e processos**

Ex: tecnologias de previsão de eventos, manejo arbóreo (seleção, plantio, poda, fitossanidade)

## O que escrevemos sobre o tema na imprensa (acendebrasil.com.br/artigos)

**Opinião** | O setor elétrico brasileiro e os eventos climáticos extremos

Os mesmos atributos responsáveis pela matriz elétrica de baixa emissão aumentam sua vulnerabilidade diante dos eventos climáticos extremos

Por Alexandre Uhlig e Claudio Sales  
05/02/2024 | 03h00

Lideranças de todo o mundo estiveram reunidas em Dubai para discutir e reafirmar seus compromissos climáticos durante a 28.ª Conferência das Partes (COP28) em Abu Dhabi. A atenção da imprensa internacional está focada nos impactos de eventos climáticos extremos.

**O ESTADO DE S. PAULO**  
05/fev/2024

As previsões mais recentes alertam para um agravamento das consequências das mudanças climáticas e para o estreitamento da janela de ação para o enfrentamento dessas questões. Fica evidente a necessidade do cumprimento das metas globais estabelecidas para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEEs), bem como a necessidade de planejamento e adaptação para os desafios que surgirão. A substituição de fontes de geração de eletricidade baseadas em combustíveis fósseis por fontes renováveis é um dos pilares da discussão global e o setor elétrico, um de seus protagonistas, seja por sua relevância nas emissões para a produção de energia ou por sua exposição às

**Opinião •** | Eventos políticos extremos

Para quem está sem luz há dias, importa muito menos quem é o culpado, e muito mais quem está ajudando a buscar soluções

Por Eduardo Müller Monteiro e Claudio J.D. Sales  
18/10/2024 | 03h00

No dia 11 de outubro, última sexta-feira, a região metropolitana de São Paulo foi novamente afetada por um evento climático extremo que, como ocorreu em novembro do ano passado, provocou muitos danos físicos, entre os quais quedas de árvores que – como em 2023 – estemunhados pelos paulistanos – derrubando o fornecimento desse serviço.

**O ESTADO DE S. PAULO**  
18/out/2024

Os agentes políticos – reproduzindo o padrão de comportamento que tiveram após as rajadas de vento de 3 de novembro de 2023 – correram para a imprensa e suas redes sociais para explorar politicamente o evento da semana passada, colocando-nos diante dos efeitos de uma tempestade perfeita tanto no mundo climático quanto no mundo político.

## Concessões elétricas, eventos climáticos e eventos políticos

O setor elétrico deve ser avaliado por dados objetivos, não por achismos ou pressupostos.



### ACENDE BRASIL: EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS E O SETOR ELÉTRICO

16:33 20/08/2024 ✓



Por Alexandre Uhlig e Eduardo Müller Monteiro\*

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 Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, na sigla em inglês) afirmam que o cenário tende a se agravar.

Apenas para se ter uma ideia da tendência acima, o número de desastres naturais quintuplicou entre 1970 e 2021. Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), nesta janela de 50 anos foram

### O futuro das dimensões ESG no setor elétrico brasileiro

**ARTIGO**

Alexandre Uhlig e Eduardo Müller Monteiro  
Diretores do Instituto Acende Brasil

As dimensões ESG (a sigla em inglês para Ambiental, Social e Governança) têm passado por transformações relevantes em função de eventos globais e mudanças políticas. A eleição de Donald Trump, por exemplo, introduziu uma dinâmica que afeta diversas regulamentações ambientais e climáticas não apenas nos Estados Unidos, mas ao redor do mundo. Essas mudanças impactam o setor elétrico e sua capacidade de atender às exigências ambientais, sociais e de governança.

Exemplos marcantes desses desafios são as mudanças climáticas e os eventos climáticos extremos, forças que ameaçam a infraestrutura energética e os recursos naturais. A transição energética justa e inclusiva; 4) na estabilidade climática; e 5) no uso responsável dos recursos naturais. A inação ou o atraso na implementação dessas medidas pode resultar em riscos financeiros, pressões regulatórias e perda da "licença social" para operar os ativos elétricos.

Na dimensão ambiental, precisamos manter comunicação transparente sobre os impactos das fontes energéticas e as soluções adotadas para mitigá-los. Nesse espírito, a exploração da Amazônia deve considerar tanto o desenvolvimento econômico e social da região quanto a preservação de recursos naturais ameaçados pelos nossos países.

O setor elétrico brasileiro não deve apenas alinhar-se às diretrizes globais de ESG, mas também assumir papel de liderança em relação aos demais países na transição energética.

**O ESTADO DE S. PAULO**  
02/jun/2025

**papel de liderança em relação aos demais países na transição energética**

**Opinião •** | Caducidade da concessão da Enel não é a resposta

Problemas na área metropolitana de São Paulo só serão resolvidos gradualmente com investimentos contínuos

Por Ricardo...  
31/01/2026

**O ESTADO DE S. PAULO**  
31/jan/2026

A principal causa das interrupções no fornecimento de energia na área metropolitana de São Paulo é a queda de árvores sobre a rede elétrica. As quedas rompem cabos, derrubam postes e danificam transformadores, comprometendo trechos inteiros da rede.

Este cenário é provocado por três fatores: 1) as mudanças climáticas que elevam a frequência e intensidade de tempestades com fortes ventos; 2) a existência de

O Instituto Acende Brasil é um Centro de Estudos que visa a aumentar o grau de **Transparência e Sustentabilidade do Setor Elétrico Brasileiro**. Para atingir este objetivo, adotamos a abordagem de **Observatório do Setor Elétrico** e estudamos as seguintes dimensões:

Para saber mais acesse:  
[www.acendebrazil.com.br](http://www.acendebrazil.com.br)

