



## Impactos das mudanças climáticas no setor elétrico brasileiro<sup>1</sup>

Nivalde de Castro<sup>2</sup>

Luiza Masseno Leal<sup>3</sup>

Vinícius José da Costa<sup>4</sup>

Diante do agravamento crescente das condições adversas do meio ambiente e da urgência pela redução das emissões de gases do efeito estufa, os investimentos do setor elétrico precisam viabilizar simultaneamente três pilares: descarbonização, eletrificação e resiliência. Isso ocorre devido ao fato de que as ocorrências dos eventos climáticos extremos provocam interrupções significativas no fornecimento de energia, impactando negativamente as atividades socioeconômicas da região e a qualidade de vida. Dessa forma, coloca-se em evidência a necessidade urgente de reforçar a resiliência climática do setor, foco analítico do presente artigo.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2023, o clima brasileiro foi fortemente influenciado pelo fenômeno climático *El Niño*, que resultou em chuvas intensas e alagamentos na Região Sul, seca na Região Norte e ondas de calor nas Regiões Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, com recordes sucessivos. Neste sentido, a usina hidrelétrica de Santo Antônio, localizada na Região Norte, teve sua operação interrompida devido às baixas vazões. Além disso, em novembro de 2023, uma forte tempestade, com ventos que ultrapassaram 100 km/h e quedas de centenas de árvores, atingiu a capital e região metropolitana de São Paulo, danificando mais de 140 km da rede de distribuição elétrica, o que deixou mais de duas milhões de pessoas sem energia e exigiu um esforço de guerra da concessionária ENEL.

---

<sup>1</sup> Artigo publicado no Broadcast Energia. Disponível em: <https://energia.aebroadcast.com.br/tabs/news/747/49327792>. Acesso em: 12 de ago. 2024.

<sup>2</sup> Professor do Instituto de Economia da UFRJ e Coordenador do Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL-UFRJ).

<sup>3</sup> Pesquisadora Plena do GESEL -UFRJ.

<sup>4</sup> Pesquisador Júnior do GESEL-UFRJ.

Mais recente, a crise climática que ainda impacta o Rio Grande do Sul ilustra os imensos desafios enfrentados pelo setor elétrico. Os efeitos das enchentes no estado provocaram o alagamento de subestações, o desligamento de linhas de transmissão e até o rompimento de uma barragem hidrelétrica. Além disso, mais de 500 mil imóveis ficaram sem energia elétrica inicialmente, com bloqueios em estradas e alagamentos, o que foi amplamente divulgado pelos principais meios de comunicação.

De acordo com estudo técnico da Confederação Nacional dos Municípios, entre os anos de 2013 e 2023, 5.233 cidades brasileiras, o que corresponde a 94% das unidades federativas municipais, foram afetadas pelo menos uma vez por eventos que resultaram na decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública. O impacto nas populações desses locais foi de 2.667 mortes e os prejuízos estimados em R\$ 639,4 bilhões. Diante disso, a resiliência climática de comunidades, populações locais e organizações se coloca inegavelmente como uma pauta primordial no debate atual, no qual as redes elétricas são um vetor de infraestrutura estratégico.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), define-se resiliência como a capacidade dos sistemas de lidar com uma perturbação, respondendo ou reorganizando-se para manter a sua funcionalidade, estrutura e identidade, com capacidade de adaptação, aprendizagem e transformação. Desse modo, o conceito de resiliência está ligado à capacidade de adaptação, que é definida como o processo de se ajustar às condições climáticas atuais ou esperadas e aos seus efeitos, visando reduzir os potenciais danos ou aproveitando as oportunidades positivas. A adaptação pode envolver ajustes em práticas ou políticas, mudanças em infraestrutura, planejamento e gestão de recursos, por exemplo.

No caso do setor energético, especificamente, a Agência Internacional de Energia (IEA) define resiliência como a capacidade de antecipar, absorver, acomodar e se recuperar de impactos climáticos adversos. Os efeitos dos eventos naturais de risco na infraestrutura de energia variam conforme o tipo de ativo analisado, os padrões de construção, a natureza do evento de risco, além de sua intensidade e duração, dentre outros fatores. Assim, a estrutura conceitual para a resiliência climática do sistema elétrico delinea as três dimensões críticas do sistema, robustez, desenvoltura e recuperação, definidas a seguir:

- i. Robustez é a capacidade de um sistema de energia de resistir às mudanças graduais e de longo prazo nos padrões climáticos e continuar operando;

- ii. Desenvoltura é a capacidade de continuar a operação durante choques imediatos, como eventos climáticos extremos; e
- iii. Recuperação é a capacidade de restaurar a função do sistema após uma interrupção resultante de eventos climáticos.

Complementarmente, Afzal *et al.* (2020) indicam que a resiliência dos sistemas elétricos deve envolver as capacidades de:

- i. Prever o evento climático perturbador antes que ele aconteça;
- ii. Evitar o distúrbio;
- iii. Prevenir os efeitos decorrentes dos eventos climáticos;
- iv. Reconfigurar o sistema com os recursos redundantes disponíveis e a mão-de-obra adequada, para recuperar rapidamente a infraestrutura danificada ao nível anterior ao distúrbio; e
- v. Aprender com a experiência e aprimorar ainda mais as suas capacidades.

Diante disso, a compreensão dos possíveis impactos das mudanças climáticas na geração e demanda de energia elétrica e nos sistemas de transmissão e distribuição é de suma importância para aprimorar o planejamento energético, de modo que sejam elaboradas estratégias que visem a ampliação da resiliência climática do sistema elétrico brasileiro e dos investimentos necessários.

De maneira geral, segundo estudo da EPE (2023), os potenciais impactos das mudanças climáticas podem ser divididos em quatro grupos:

- i. Alterações na disponibilidade de recursos naturais para geração de energia elétrica ou na sua distribuição temporal (variação diária ou sazonal);
- ii. Redução da eficiência de equipamentos e estruturas dos sistemas elétricos de geração, transmissão e distribuição;
- iii. Aumento da demanda por energia elétrica, sobretudo para maior conforto térmico, como refrigeração; e
- iv. Danos às infraestruturas que causam a interrupção ou falha no fornecimento de energia elétrica ou situações que coloquem em risco a segurança de equipamentos, estruturas e populações.

Nota-se que medidas adequadas reduzem potencialmente a duração da interrupção do fornecimento de energia elétrica e aceleram o processo de restauração das redes em casos de eventos extremos. Dentre essas medidas, destacam-se:

- i. A ampliação de sistemas de previsão;
- ii. O fortalecimento da infraestrutura elétrica, incluindo linhas, postes e demais componentes da rede de distribuição;

- iii. A expansão da infraestrutura elétrica para atender a um maior número de condições de interrupção, como estabelecimento de redundâncias, incluindo instalação de linhas adicionais, disjuntores e transformadores;
- iv. O aperfeiçoamento da inteligência da rede elétrica, por meio da utilização de sensores avançados, automação, redes de comunicação e monitoramento aprimoradas e armazenamento de energia;
- v. A adição de recursos energéticos distribuídos nas redes de distribuição, de forma a diversificar o portfólio energético;
- vi. A operação do sistema de distribuição como um sistema de multimicrorredes;
- vii. O compartilhamento de recursos e funcionários entre as empresas do setor elétrico durante eventos extremos; e
- viii. O manejo vegetal, incluindo a adequada arborização nas cidades e parcerias com órgãos competentes.

Durante a ocorrência em si dos eventos, é de fundamental importância a aplicação de planos que incluam reforços de atendimento digital e comunicação com os clientes, que não devem ficar desamparados. Por fim, os formuladores de políticas e atores críticos devem minimizar os impactos da interrupção, priorizando o planejamento de recuperação. Esse planejamento pode ser desenvolvido por meio de modelagem e simulação de medidas necessárias de resposta a emergências e devem ser constantemente revisados para refletir as lições aprendidas com os eventos anteriores recentes (IEA, 2020).

Além disso, inovações regulatórias que visem a adequação e promoção dos investimentos e requisitos necessários para uma maior resiliência do setor elétrico também deverão ser cuidadosamente analisadas e adotadas. Evidentemente, nesse cenário de transição e incertezas energética, as concessionárias de energia elétrica estão buscando clareza sobre as métricas e indicadores-chave de desempenho, decisivos para avaliar a resiliência climática geral e as novas tecnologias a serem implementadas. Deste modo, os formuladores de políticas públicas possuem um papel fundamental a desempenhar na construção de sistemas elétricos resilientes, colaborando com agentes do setor e adotando medidas eficazes que podem, inclusive, evitar possíveis falhas de mercado.

Para fins de conclusão, destaca-se que a crescente vulnerabilidade do setor elétrico às mudanças climáticas sublinha a necessidade urgente de reforçar a resiliência desse setor tão crucial para a vida moderna. Assim, a resiliência climática deve ser um elemento central dos planos e regulamentos de energia e clima. Portanto, a adaptação contínua e a aprendizagem a partir de eventos extremos recentes são fundamentais para fortalecer a robustez, desenvoltura e capacidade de recuperação do sistema elétrico, garantindo a segurança e a

continuidade do fornecimento de energia em face de desafios climáticos futuros. Neste sentido, o decreto que firmou as bases para a prorrogação dos contratos de concessão do segmento de distribuição de energia elétrica apontou a relevância da resiliência e endereçou à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a regulamentação para orientar os investimentos necessários.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

AFZAL, S. *et al.* State-of-the-art review on power system resilience and assessment techniques. **IET Generation, Transmission & Distribution**, v. 14, p. 6107-6121, 2020.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Fortalecimento da Resiliência do Setor Elétrico em Resposta às Mudanças Climáticas: Revisão Bibliográfica**. 2023. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-813/NT-EPE-DEA-016-2023\\_R0\\_Final.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-813/NT-EPE-DEA-016-2023_R0_Final.pdf).

IEA - International Energy Agency. **Power System in Transition - Challenges and opportunities ahead for electricity security**. 2020. Disponível em: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/cd69028a-da78-4b47-b1bf-7520cdb20d70/Power\\_systems\\_in\\_transition.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/cd69028a-da78-4b47-b1bf-7520cdb20d70/Power_systems_in_transition.pdf).

IEA - International Energy Agency. **Climate Resilience**. 2021. Disponível em: , [https://iea.blob.core.windows.net/assets/cd69028a-da78-4b47-b1bf-7520cdb20d70/Power\\_systems\\_in\\_transition.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/cd69028a-da78-4b47-b1bf-7520cdb20d70/Power_systems_in_transition.pdf).

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>.