

# A RESILIÊNCIA DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA

RECOMENDAÇÕES PARA UM NOVO PARADIGMA REGULATÓRIO





## AUTORES Y COLABORADORES

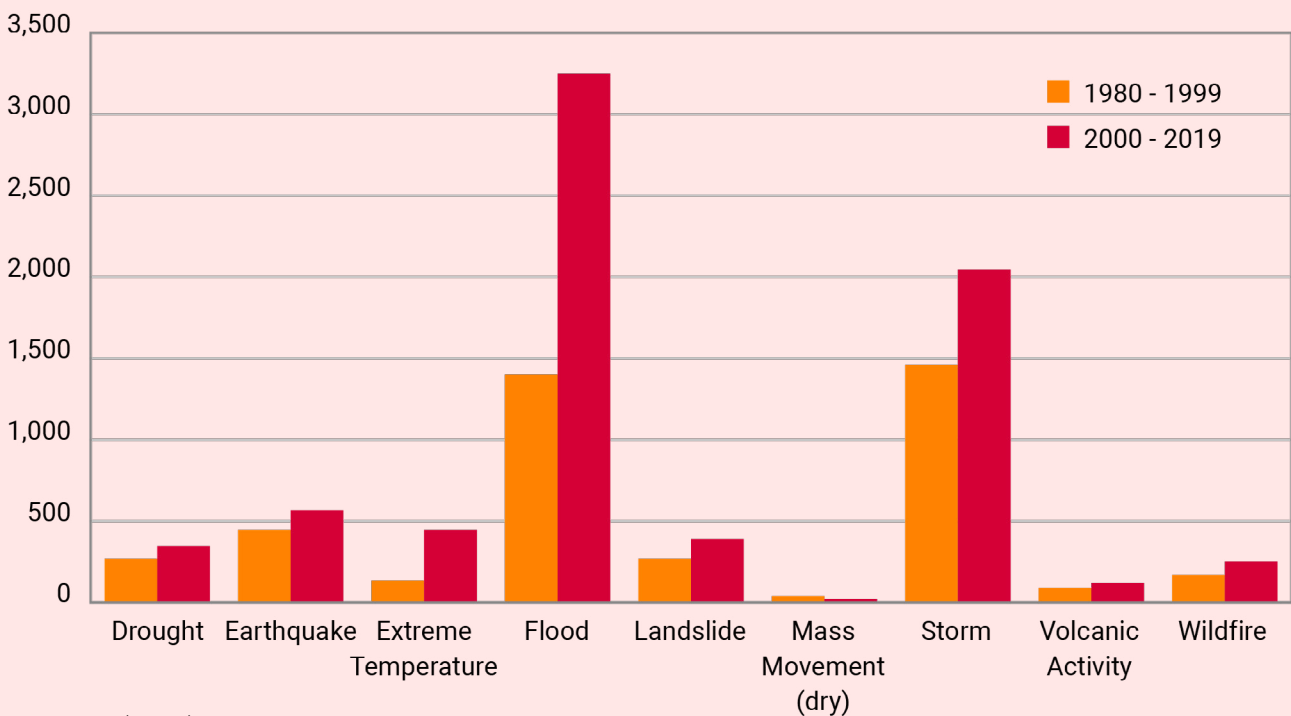
Aldo Pessanha, Viviana Vitto, Alessandra Genu Dutra Amaral, Roberto Cajamarca Gómez, Sandra Marcela Quijano López, Mena Testa, Patricio Molina, Alfredo Gallegos, Claudio Bulacio, Ernesto San Miguel, Hilario Vistolet, María José Perez Vanmorlegan, Gabriela Leoncini, Clarissa Machado, Talita Darwiche, Mariana Silva Barreto, Dimitri Barros Pereira de Oliveira, Francisco Mualim, Pablo Jofreu, Gina Pastrana, Camilo Agredo, Sergio Zambrano, Dimas Carranza, Jorge Ponce, Julio Luján.



<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>4</b>
<b>2. UM NOVO PARADIGMA: DA CONFIABILIDADE À RESILIÊNCIA</b>	<b>6</b>
<b>3. EFEITOS DOS EVENTOS DE GRANDE IMPACTO NOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO</b>	<b>8</b>
3.1. Definição e tipologia dos Eventos de Grande Impacto	8
3.2. Eventos de Grande Impacto na América Latina	8
3.3. Efeitos sobre os Sistemas de Distribuição Elétrica	11
<b>4. PANORAMA DA RESILIÊNCIA NA DISTRIBUIÇÃO NA AMÉRICA LATINA</b>	<b>14</b>
4.1. Mecanismos de monitoramento e antecipação	14
4.2. Planos de contingência	15
4.3. Desenvolvimentos regulatórios	16
<b>5. REGULAÇÃO SOBRE EVENTOS DE GRANDE IMPACTO</b>	<b>17</b>
5.1. Qualificação dos eventos	17
5.2. Responsabilidades dos DSOs	19
<b>6. REGULAÇÃO PARA A RESILIÊNCIA DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO</b>	<b>21</b>
6.1. Definição de indicadores para a medição da Resiliência	22
6.2. Planos de investimento para a melhora da Resiliência	23
6.3. Reconhecimento dos mecanismos de assistência	24
<b>7. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS DE REGULAÇÃO PARA A RESILIÊNCIA</b>	<b>25</b>
7.1. Avaliação e mitigação de riscos	25
7.2. Mecanismos de prognóstico e antecipação	25
7.3. Planos de Contingência e Gestão de Crise	26
7.4. Mecanismos de Resposta e Coordenação	26
7.5. Incentivos regulatórios aos investimentos em Resiliência	28
7.6. Indicadores para a medição da Resiliência	29
<b>8. CONCLUSÕES E MELHORIAS REGULATÓRIAS</b>	<b>30</b>
<b>9. REFERÊNCIAS</b>	<b>32</b>

A resiliência dos sistemas de distribuição elétrica (RSE) tornou-se um tema de vital importância no contexto atual de aquecimento global e transição energética. À medida que o planeta enfrenta os efeitos das mudanças climáticas, a frequência e a severidade dos eventos de grande impacto, como furacões, tempestades, inundações, nevascas, incêndios e ondas de calor, aumentaram notavelmente. Esses eventos representam desafios significativos para a infraestrutura de distribuição elétrica, especialmente na América Latina, uma região caracterizada por sua vulnerabilidade climática e diversidade geográfica, e com infraestruturas elétricas que foram construídas com base em parâmetros ambientais que estão sendo superados rápida e irreversivelmente.

**Gráfico 1. Incremento dos eventos de grande impacto a nível mundial**



Fonte: EPRI (2023a)

Por outro lado, nossos sistemas energéticos estão se descarbonizando, o que gera uma mudança para uma maior eletrificação da demanda energética de uso final. À medida que o avanço em direção à eletrificação aumenta a dependência da sociedade da rede elétrica para satisfazer as necessidades básicas, as ameaças das mudanças climáticas exigirão uma maior resiliência da infraestrutura elétrica, pois as falhas no serviço terão maiores impactos sobre as atividades produtivas e a sociedade em geral.

Nesse contexto, assegurar a resiliência dos sistemas de distribuição elétrica é crucial para garantir a continuidade e a qualidade do serviço elétrico, proteger a infraestrutura crítica e salvaguardar o bem-estar das comunidades. A resiliência não só implica a capacidade dos sistemas elétricos de resistir e se recuperar rapidamente de eventos adversos, mas também sua capacidade de se adaptar e se transformar em resposta a esses desafios emergentes.



A regulação do serviço de distribuição elétrica na América Latina também deve evoluir para enfrentar essa nova realidade, pois atualmente está projetada para otimizar a eficiência de custos e promover um crescimento estável da cobertura e acesso aos sistemas de distribuição, mas com crescentes rigidezes que não respondem à crescente variabilidade climática e do entorno. É essencial que as políticas e normativas sejam atualizadas para fomentar o investimento em infraestrutura resiliente, promover a adoção de tecnologias avançadas de previsão e gestão de crises, e estabelecer mecanismos de coordenação e resposta eficazes. Além disso, é fundamental que se desenvolvam e utilizem indicadores claros para medir a resiliência das redes elétricas e avaliar o impacto das políticas implementadas.

Este documento tem como objetivo promover uma discussão sobre a resiliência dos sistemas de distribuição elétrica na América Latina, abordando os desafios e oportunidades que o contexto atual apresenta. Exploram-se os impactos dos eventos de grande impacto na infraestrutura de distribuição, oferece-se um panorama sobre a resiliência na região e analisam-se as regulações existentes e as melhores práticas internacionais. Também são apresentadas estratégias e mecanismos para a qualificação de eventos extremos, previsão e antecipação, planos de contingência, e resposta e coordenação diante de crises. Finalmente, discutem-se os indicadores e os incentivos regulatórios e tarifários para fomentar os investimentos na resiliência dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

## 02

# UM NOVO PARADIGMA: DA CONFIABILIDADE À RESILIÊNCIA

A resiliência é a capacidade de um sistema de absorver e se recuperar rapidamente de uma perturbação. Uma rede elétrica resiliente pode ser definida como aquela que possui quatro propriedades fundamentais:

**Antecipação:** capacidade de evitar os danos causados por eventos de grande impacto.

**Absorção:** capacidade de minimizar os efeitos de eventos graves.

**Recuperação:** capacidade de reconstruir funcionalidades danificadas pelo evento.

**Adaptabilidade:** processo de aumentar a capacidade do sistema a partir do aprendizado resultante dos resultados de eventos passados (Jufri et al., 2019)

Os conceitos de confiabilidade e resiliência são diferentes, mas não excludentes. A confiabilidade se foca em garantir que o sistema possa fornecer eletricidade com uma alta probabilidade de sucesso, enquanto a resiliência se refere ao que acontece quando o sistema está sob estresse e pode não ser capaz de fornecer esse serviço. A resiliência é pensada em termos de eventos de alto impacto e baixa frequência, enquanto as pequenas interrupções de natureza mais comum pertencem ao âmbito da qualidade e da confiabilidade.

Embora ambas as situações possam resultar em interrupções no serviço elétrico, as implicações dos eventos de alto impacto podem ser exponencialmente piores do que as de pequenas e breves interrupções. Por essa razão, a resiliência merece considerações adicionais que vão além da confiabilidade. Nesse sentido, a resiliência incorpora aspectos mais amplos, como a disponibilidade de serviços críticos, independentemente de se provêm da infraestrutura construída ou de investimentos não tradicionais em serviços de backup.



A resiliência facilita a transição energética, permitindo mais soluções de eletrificação.



Apesar do acima exposto, os investimentos na resiliência, especialmente no que diz respeito aos riscos climáticos, podem ser um apoio importante para a melhoria da qualidade e confiabilidade do sistema. Portanto, pode-se dizer que uma rede resiliente é uma rede confiável, mas uma rede com boa confiabilidade não é necessariamente uma rede resiliente (Sinapsis, 2023).

Um sistema elétrico resiliente a eventos de alto impacto oferece múltiplos benefícios à segurança elétrica. Estudos recentes sugerem que os benefícios de sistemas elétricos resilientes superam largamente os custos na maioria dos cenários, levando-se em consideração os impactos crescentes das alterações climáticas. Estima-se que por cada dólar investido em infraestruturas resilientes às alterações climáticas, são poupados seis dólares. Segundo o Banco Mundial, se as ações para construir resiliência forem adiadas por 10 anos, o custo quase duplicará (Banco Mundial, 2019). Por exemplo, em alguns países vulneráveis, as redes subterrâneas podem reduzir significativamente os potenciais danos causados pelos impactos climáticos e poupar custos de recuperação, embora possam exigir um esforço inicial maior do que as redes aéreas. A resiliência também facilita a transição energética, permitindo mais soluções de eletrificação e acelerando a transição para energias renováveis, que são muitas vezes sensíveis às alterações climáticas. (IEA, 2021).

A mudança de um paradigma de confiabilidade para um de resiliência é um processo complexo e gradual, que deve ser realizado com a participação dos agentes reguladores para remunerar e incentivar o novo tipo de investimentos que são requeridos.



## EFEITOS DOS EVENTOS DE GRANDE IMPACTO NOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO



### DEFINIÇÃO E TIPOLOGIA DOS EVENTOS DE GRANDE IMPACTO

Eventos de alto impacto, também conhecidos como eventos extremos, são fenômenos naturais ou antropogênicos que, pela sua intensidade e extensão, têm a capacidade de causar perturbações significativas nos sistemas de distribuição elétrica. Esses eventos podem variar em natureza e duração e são comumente classificados em diversas categorias, incluindo:

**Eventos Meteorológicos Extremos:** Huracões, tormentas severas, inundações, secas, ondas de calor e ondas de frio.

**Eventos Geológicos:** Terremotos, tsunamis e erupções vulcânicas.

**Eventos Antropogênicos:** Actos de terrorismo, ciberataques, acidentes industriais e fallos técnicos massivos, incêndios florestais provocados por ação humana.

### EVENTOS DE GRANDE IMPACTO NA AMÉRICA LATINA

Os países latino-americanos enfrentam uma variedade de riscos decorrentes de eventos de alto impacto que afetam os seus sistemas de distribuição elétrica. Os riscos mais comuns incluem terremotos, inundações, tempestades, furacões, erupções vulcânicas e deslizamentos de terra. A frequência e a gravidade destes eventos variam de acordo com a região e dependem de fatores geográficos e climáticos específicos.

“

A América Latina testemunhou numerosos eventos de grande impacto.



## ARGENTINA

As chuvas e as enchentes dos rios, principalmente no litoral e na região dos Pampas, podem causar inundações que afetam a infraestrutura elétrica. No verão, as altas temperaturas podem aumentar a demanda de eletricidade e causar sobrecargas no sistema.



## BRASIL

Chuvas intensas em regiões como a Amazônia, Sul e Sudeste (incluindo Rio de Janeiro e São Paulo) causam inundações e deslizamentos de terra que afetam a infraestrutura elétrica. Na região Nordeste, fortes tempestades podem danificar linhas de transmissão e distribuição.



## CHILE

É um dos países com maior atividade sísmica do mundo, com terremotos e tsunamis que afetam as zonas costeiras, onde se concentra uma parte importante da infraestrutura elétrica. Nas áreas andinas, as tempestades de neve podem interromper o fornecimento de energia e dificultar os reparos. Nas zonas centro e sul (onde vive grande parte da população) tem-se verificado um aumento da frequência e intensidade dos incêndios florestais no verão, e das cheias e transbordamentos dos rios no inverno, afetando significativamente a infraestrutura elétrica.



## COLOMBIA

As fortes chuvas causam deslizamentos de terra e inundações em regiões montanhosas

e costeiras. As regiões costeiras do Caribe podem ser afetadas por tempestades e furacões, e a zona andina apresenta alta atividade sísmica.



## COSTA RICA

A temporada de furacões no Caribe traz tempestades e chuvas intensas, que podem causar inundações, especialmente na encosta caribenha e nas planícies do norte. A atividade de vulcões como Turrialba e Poás também pode afetar a infraestrutura elétrica e causar cortes de energia.



## EQUADOR

O Equador está localizado em uma área de alta atividade sísmica e vulcânica, que pode impactar a infraestrutura. O período chuvoso também pode causar inundações e deslizamentos de terra em diversas regiões.



## GUATEMALA

Está localizada em uma região de alta atividade sísmica. A atividade de vulcões como Fuego e Pacaya pode afetar a infraestrutura elétrica. Chuvas fortes durante a temporada de furacões podem causar inundações e deslizamentos de terra, especialmente em áreas montanhosas.



## PERÚ

Trata-se de um país altamente sísmico, com terremotos que podem causar danos significativos à infraestrutura elétrica. Durante o fenômeno El Niño ocorrem chuvas intensas, causando principalmente inundações e deslizamentos de terra. A atividade de vulcões como Ubinas e Sabancaya pode afetar a infraestrutura elétrica.

A América Latina testemunhou numerosos eventos de alto impacto nos últimos anos, que testaram a resiliência dos seus sistemas de distribuição elétrica. Alguns exemplos notáveis incluem:

**Furacão Maria (2017):** Este furacão devastou grande parte do Caribe, incluindo Porto Rico, causando cortes generalizados de energia. A recuperação total do sistema de distribuição demorou vários meses devido aos extensos danos na infraestrutura.

**Nevasca em Santiago do Chile (2017):** Uma nevasca incomum em Santiago do Chile deixou 300 mil casas sem eletricidade.

**Terremoto no México (2017):** O terremoto de magnitude 7,1 que abalou a Cidade do México e arredores causou danos significativos às redes elétricas, com milhares de usuários afetados por cortes prolongados de energia.

**Apagão Nacional na Venezuela (2019):** Embora de natureza mais complexa e com fatores internos, o apagão massivo na Venezuela deixou quase todo o país sem energia elétrica durante vários dias, evidenciando a fragilidade do sistema de distribuição elétrica diante de falhas técnicas e problemas de manutenção.

**Tempestades e inundações no Brasil (2023 e 2024):** Em 2023, uma tempestade afetou o abastecimento de 3,7 milhões de pessoas em São Paulo. Em 2024, a pior enchente em mais de 80 anos afetou o estado do Rio Grande do Sul, causando deslizamentos generalizados e o rompimento de uma barragem, deixando também mais de 500 mil pessoas sem serviço de energia elétrica.

Estudos do Electric Power Research Institute (EPRI) prevêem que, devido às alterações climáticas, tempestades mais fortes irão perturbar cada vez mais a rede, especialmente no Médio Atlântico e no Nordeste, e os cortes de energia induzidos por furacões aumentarão até 50% (Gaffney, 2024). Isto levanta a necessidade de análise de risco climático para o planejamento energético e a adaptação de infraestruturas para resistir a eventos de alto impacto causados pelo clima.



## EFEITOS SOBRE OS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA

Eventos de alto impacto podem ter consequências prejudiciais para a infraestrutura de distribuição elétrica e para a continuidade do serviço. Alguns destes efeitos são bem conhecidos, enquanto outros ainda não foram extensivamente estudados ou documentados. Em termos gerais, a infraestrutura de distribuição apresenta diferentes níveis de vulnerabilidade a diferentes categorias de eventos de alto impacto, conforme resumido abaixo:

**Tabela 1. Vulnerabilidade dos ativos de distribuição a eventos de grande impacto**

Tipo	Terremoto	Tempestade	Inundação	Tsunami	Incêndio	Seca	Onda de calor
Linhas elétricas	Média	Alta	Baixa	Média	Alta	Média	Média
Subestações	Alta	Alta	Alta	Média	Alta	Baixa	Média

Fonte: Banco Mundial (2019).

Um estudo do Electric Power Research Institute - EPRI (2023) identificou que, embora cada classe de ativos tenha interações únicas com o clima e o meio ambiente, podem ser levantadas algumas variáveis comuns que têm grande impacto nos ativos individuais, como:

**Temperatura ambiente:** O desempenho de muitos ativos de distribuição depende da sua temperatura, que é frequentemente afetada tanto pela temperatura ambiente (impacto direto) como pelo aumento da carga elétrica do sistema causado pelo mesmo fenômeno (por exemplo, cargas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado).

**Frequência e gravidade dos eventos extremos:** Em muitos casos, os ativos do sistema de distribuição são suscetíveis a eventos extremos, tanto direta como indiretamente. Por exemplo, os equipamentos de distribuição são diretamente suscetíveis aos ventos provocados por furacões e tempestades.

**Temperatura e umidade do solo:** Muitos ativos do sistema de distribuição têm contato com o solo. Alguns são completamente subterrâneos e outros dependem de fundações ou estão enterrados. As condições do solo, como temperatura e umidade, têm um grande impacto nas taxas de corrosão e degradação, o que pode ter um impacto de longo prazo nas taxas de degradação de ativos, na confiabilidade, nos projetos, na inspeção de frequência e nos programas de manutenção.



Além disso, o EPRI identificou a necessidade de mais investigação e desenvolvimento de modelos que aumentem a compreensão do efeito da temperatura ambiente na carga a nível dos ativos, o impacto de operações sustentadas a temperaturas elevadas na vida útil dos ativos a longo prazo, e o impacto do clima em novos ativos tecnológicos e materiais emergentes.

Desta forma, um evento de alto impacto pode ter consequências agregadas nos sistemas de distribuição e, portanto, na prestação do serviço elétrico. Entre as principais consequências sistêmicas estão:

**Danos Físicos à Infraestrutura:** Eventos extremos podem causar a destruição de postes, transformadores, linhas de transmissão e subestações. Esses danos não apenas interrompem o serviço elétrico, mas também exigem investimentos significativos e tempo para reparos. Por exemplo, os furacões podem derrubar postes e linhas, enquanto as inundações podem danificar equipamentos elétricos subterrâneos e a nível do solo.

**Interrupções Prolongadas do Serviço:** Eventos de alto impacto podem causar cortes prolongados de energia, afetando residências, empresas, serviços públicos e críticos, como hospitais e sistemas de emergência, e usuários eletrodependentes. A restauração do serviço pode ser um processo lento e complexo, especialmente em áreas de difícil acesso ou com infraestruturas gravemente danificadas.

**Desafios Operativos e Logísticos:** A reparação e restauração de infraestruturas elétricas danificadas requerem uma coordenação eficiente de recursos humanos, materiais e financeiros. Condições adversas após um evento extremo, como estradas bloqueadas ou áreas inundadas, podem complicar ainda mais estes esforços.

**Deterioração da infraestrutura a longo prazo:** Eventos repetidos de alto impacto podem causar deterioração gradual da infraestrutura elétrica, diminuindo a sua vida útil e aumentando os custos de manutenção e substituição.

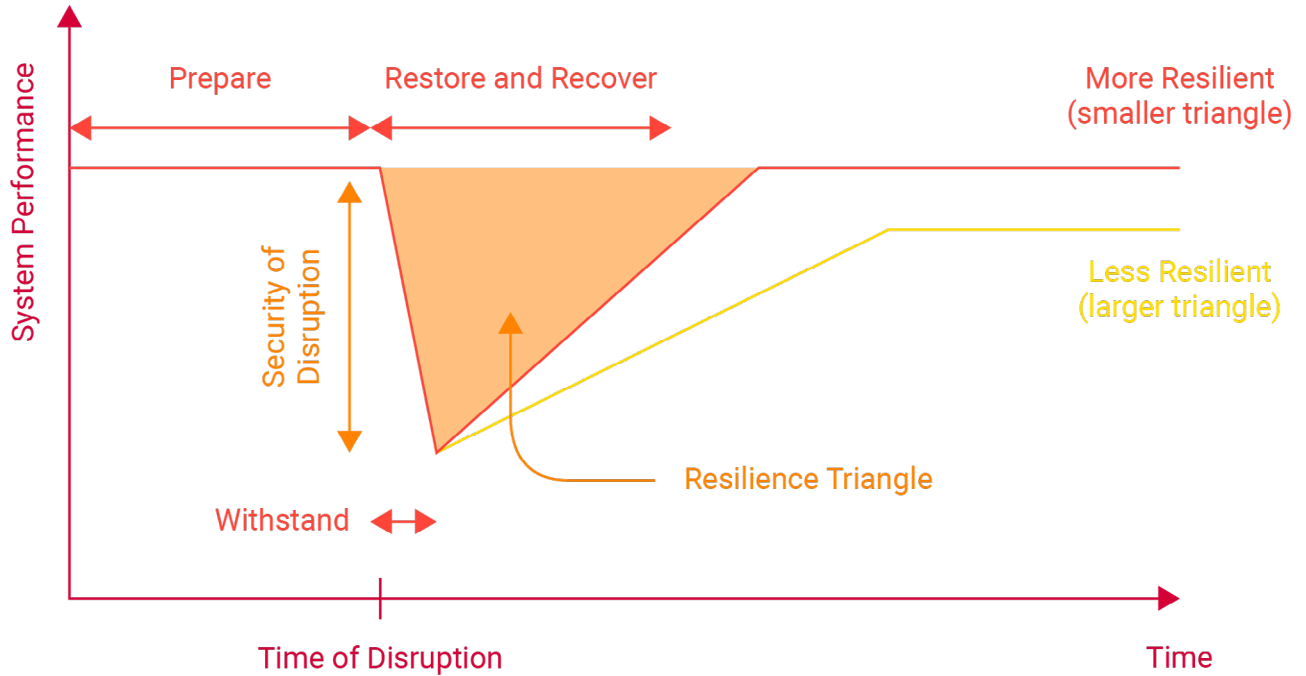
“

Eventos extremos podem causar a destruição de postes.



Em relação à avaliação temporal dos efeitos de um evento de alto impacto, Bruneau et al. (2003) introduziram o conceito de triângulo de resiliência, que apresenta a perda de funcionalidade do sistema devido a danos e perturbações, bem como o padrão de restauração e recuperação ao longo do tempo.

**Gráfico 2. Fases dos eventos disruptivos e triângulo de resiliência**



Fonte: EPRI (2023a)

# 04

## PANORAMA DA RESILIÊNCIA NA DISTRIBUIÇÃO NA AMÉRICA LATINA

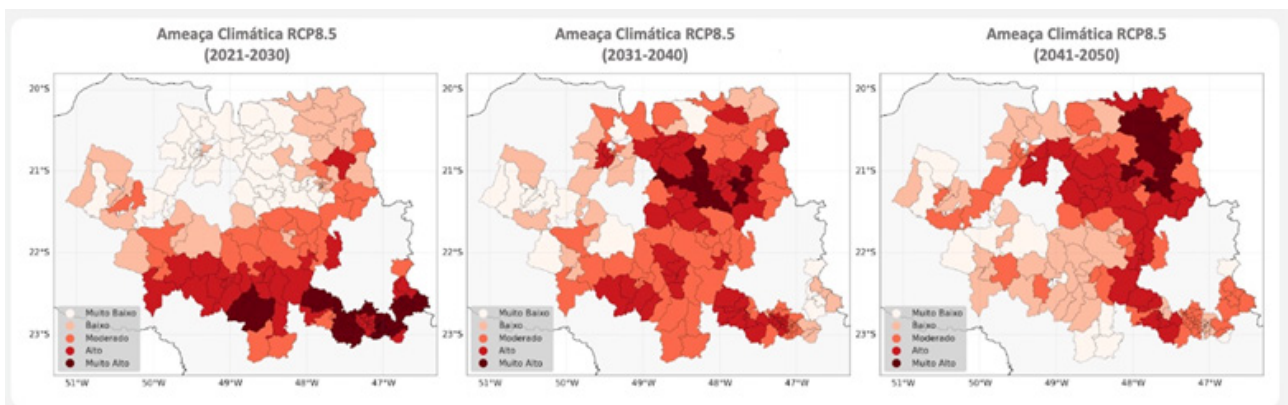
A América Latina é uma região caracterizada pela sua diversidade geográfica, climática e socioeconômica, o que influencia diretamente a resiliência dos seus sistemas de distribuição elétrica. Em termos gerais, os países latino-americanos estão apenas dando os primeiros passos para incorporar a resiliência aos riscos climáticos como um objetivo regulamentar. Em países como a Colômbia e o Equador, que sofrem o impacto periódico do Fenômeno El Niño, esses esforços têm se concentrado na diversificação do portfólio de geração para reduzir a dependência da energia hidrelétrica e, assim, garantir a confiabilidade no fornecimento durante os períodos de seca. Na transmissão e distribuição, os quadros regulatórios são concebidos para promover a eficiência de custos e o crescimento estável na cobertura e acesso aos sistemas de distribuição, o que gera rigidez crescente que não responde à crescente variabilidade climática e ambiental. A resiliência só é considerada em alguns documentos gerais de política energética e de transição (Argentina, Colômbia e Guatemala) que ainda não foram especificados em medidas regulatórias.

### MECANISMOS DE MONITORAMENTO E ANTECIPAÇÃO

Os mecanismos de monitoramento e antecipação incluem tecnologias avançadas e estratégias proativas que permitem às empresas de distribuição anteciparem e responderem rapidamente a eventos extremos. Embora na maioria dos países da região as empresas monitorem as condições meteorológicas para antecipar eventos extremos, apenas alguns identificaram a existência de sistemas de análise de risco climático que ajudam as empresas de distribuição a planejarem e utilizarem recursos de emergência de forma eficaz.

Na América Latina, a maioria das empresas consulta os serviços de previsão climática de autoridades oficiais e agências internacionais especializadas. No Brasil, existem ferramentas de análise climática que permitem identificar as regiões com maior probabilidade de sofrer eventos climáticos extremos, comparando dados históricos e modelos de previsão, para criar um mapa de ameaças climáticas.<sup>1</sup>

**Figura 1. Mapas de ameaça climática para a área de concessão da CPFL Paulista (Brasil)**



Fonte: Climatempo (2024).

Na Colômbia, algumas empresas utilizam bancos de dados e ferramentas de análise para avaliar a evolução climática, identificar vulnerabilidades e planejar o funcionamento do sistema dentro dos padrões de qualidade exigidos pela regulamentação, sem foco em eventos climáticos extremos.

## PLANOS DE CONTINGÊNCIA

Os planos de contingência são essenciais para garantir uma resposta rápida e eficaz a eventos de grande impacto. Estes planos detalham as ações a serem tomadas antes, durante e depois de um evento para minimizar o impacto e restaurar o serviço o mais rápido possível.

Na América Latina, foi identificada a implementação de planos de contingência para eventos climáticos extremos em países como Argentina, Brasil e Peru, que devem ser elaborados pelas empresas de distribuição sob as orientações das autoridades reguladoras.

Na Argentina são chamados de Planos Operacionais de Emergência (POE), que são documentos obrigatórios que cada distribuidora deve elaborar anualmente, com base nos requisitos estabelecidos pela Entidade Reguladora Nacional de Energia Elétrica (ENRE), e que devem incluir as seguintes características:

Descrever as ações a serem tomadas diante de diferentes tipos de contingências, como falhas em usinas, linhas de transmissão, subestações, etc., devido a eventos por causas climáticas, acidentes, sabotagens ou outros imprevistos.

Estabelecer protocolos de comunicação entre os diferentes atores envolvidos: distribuidor, operador do sistema, grandes usuários, autoridades governamentais, meios de comunicação.

Definir esquemas para o restabelecimento do serviço elétrico de forma segura e priorizada de acordo com a criticidade dos usuários afetados (hospitais, serviços essenciais, indústrias críticas, etc.)

Criar planos de contingência para cortes prolongados de energia que exijam racionamento ou outros procedimentos especiais.

Adicionalmente, as distribuidoras deverão contar com centros de controle, grupos de

trabalho específicos, pessoal treinado e recursos logísticos para acionar os protocolos POE em caso de contingência. Isto é complementado pela implementação de planos de manutenção preventiva para reduzir o risco de falhas, e pela realização de simulações periódicas para testar os procedimentos e a coordenação entre os diferentes participantes. A ENRE analisa e aprova ou solicita alterações aos planos apresentados pelas distribuidoras antes da sua entrada em vigor.

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) implementou regulamentações como a obrigação de desenvolver e manter planos de contingência por parte das distribuidoras. Estes planos incluem protocolos de mobilização de equipamentos e recursos, bem como coordenação com autoridades locais e nacionais.

No Chile, além da obrigatoriedade de manutenção de planos de contingência, são elaborados planos de ação anuais para o período de inverno e para o período de altas temperaturas, que devem ser comunicados à Superintendência de Eletricidade e Combustíveis. Além disso, os protocolos de resposta incluem simulações regulares e exercícios de preparação para terremotos e outros desastres.



Os planos de contingência são essenciais para garantir uma resposta rápida e eficaz a eventos de grande impacto.

## APRIMORAMENTOS REGULATÓRIOS

Na América Latina, a regulação da qualidade dos serviços não está focada na promoção de redes resilientes, dado o impacto tarifário que os investimentos podem produzir na preparação do sistema para responder a eventos extremos. Pelo contrário, a regulação tem-se centrado na avaliação da confiabilidade através de indicadores de qualidade de serviço, tendo em conta a frequência e duração das interrupções causadas por falhas comuns, e excluindo do seu cálculo grandes interrupções causadas por eventos inesperados.

No Chile, a autoridade reguladora introduziu a definição de Estado Anormal e Estado Anormal Agravado, este último correspondendo à indisponibilidade de 10% das linhas de distribuição ou 10% dos kVA dos transformadores de distribuição de um par comuna-empresa, devido a desastres naturais. A declaração destes Estados permite não considerar estas interrupções nos indicadores de qualidade do fornecimento. Adicionalmente, a Norma de Qualidade de Serviços Técnicos para Sistemas de Distribuição incluiu dois novos conceitos relacionados à resposta a desastres naturais. A primeira são os desligamentos emergenciais, para evitar a incidência de incêndios florestais. O segundo corresponde a um novo índice de Flexibilidade Operacional (FO), ainda sem exigência ou limite regulatório, que as distribuidoras devem reportar e que mede a percentagem de clientes que recuperam o serviço em menos de 30 minutos, seja através de transferências de carga, emaranhados, operações em ilha ou o trabalho das brigadas e dos recursos da empresa, sendo o primeiro indicador que mediria diretamente a resiliência das redes de distribuição face a uma interrupção no fornecimento.

No Brasil, foram instituídos conceitos como Interrupção em Situação de Emergência - ISE, que caracteriza e extrai do cálculo dos indicadores de qualidade do serviço os eventos associados a Declaração de Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública emitida por órgão competente (ANEEL, 2021).

Somente após a ocorrência de eventos de alto impacto é que as autoridades da região desenvolveram iniciativas destinadas a identificar medidas para melhorar a resiliência dos sistemas de distribuição face a eventos climáticos extremos. Tomando como evidência os eventos climáticos extremos ocorridos no Brasil em 2023, a ANEEL abriu, em 2 de fevereiro de 2024, uma consulta pública, denominada Tomada de Subsídios nº 002/2024, com o objetivo de arrecadar contribuições para melhorar a regulação associada ao aumento a resiliência dos sistemas de distribuição e transmissão a estes casos. Com base nas contribuições recebidas dos interessados, a ANEEL priorizou o desenvolvimento regulatório de medidas para melhorar a resiliência dos sistemas elétricos na agenda regulatória 2024-2025.

Em Porto Rico, foi formado um grupo de trabalho sobre resiliência com autoridades públicas, empresas elétricas e institutos de pesquisa para identificar ações para enfrentar futuras tempestades, depois do furacão Irma ter atingido a sua costa norte em 2017. Este grupo recomendou, entre outras medidas, a introdução de um sistema de três níveis para a proteção contra inundações e resiliência das redes de distribuição, que incluiu: (i) construção de uma barreira perimetral na subestação contra inundações, (ii) instalação de bombas de alta capacidade e geradores de reserva, (iii) manutenção do telhado e das paredes das subestações para enfrentar ventos fortes, (iv) aumento do uso de postes de aço galvanizado, e (v) enterramento de linhas em áreas particularmente suscetíveis (IEA, 2021).

Em termos gerais, a região necessita de aperfeiçoamentos regulatórios mais decisivos para resolver as fraquezas existentes e garantir um investimento contínuo e equitativo para fortalecer a infraestrutura e a capacidade de resposta dos sistemas de distribuição eléctrica.

## REGULAÇÃO SOBRE EVENTOS DE GRANDE IMPACTO

Na regulação da distribuição de energia, o tratamento de eventos de alto impacto desempenha um papel crucial na determinação de responsabilidades e compensação por parte dos DSOs. Estes acontecimentos, devido à sua natureza imprevisível e muitas vezes destrutiva, exigem um desenvolvimento especial nos quadros regulatórios para proteger as empresas de sanções injustas, incentivando, ao mesmo tempo, os investimentos necessários para melhorar a resiliência das redes elétricas.

### QUALIFICAÇÃO DOS EVENTOS

Durante muitos anos, os operadores de redes de transporte e distribuição, confrontados com acontecimentos de impacto muito significativo, invocaram naturalmente a isenção de responsabilidade pelas indenizações devidas aos consumidores, recorrendo ao conceito jurídico de “força maior”, que não é específico da eletricidade e se aplica transversalmente a todas as atividades sujeitas a impactos. No contexto da distribuição de energia, eventos de força maior e caso fortuito podem justificar a exclusão de compensações normalmente devidas aos consumidores por interrupções de serviço. A lógica por trás disso é que as empresas de distribuição não podem ser responsabilizadas por eventos que estão completamente fora de seu controle.

Assim, durante o período em que o evento de alto impacto afetar a distribuição de energia, as penalidades por descumprimento dos padrões de qualidade de serviço são suspensas e as compensações aos consumidores pelas interrupções são ajustadas ou eliminadas. Além disso, os reguladores adequam os indicadores de qualidade do serviço para excluir períodos afetados por eventos de força maior ou fortuitos, o que garante que as empresas não sejam penalizadas por circunstâncias fora do seu controle.

A natureza abstrata e transversal do “caso de força maior” tem suscitado debates jurídicos, pela sua falta de adaptação às especificidades do setor elétrico, e por não estabelecer bases sólidas e objetivas para

isentar de responsabilidade os operadores de rede.

Em Portugal, para minimizar a utilização indevida de “casos de força maior”, a ERSE (regulador do setor energético português) estabeleceu que a sua invocação só era aplicável no caso de eventos “que reúnam simultaneamente as condições de exterioridade, imprevisibilidade e irresistibilidade face às boas práticas ou aplicáveis ou às regras técnicas obrigatórias”. Esta iniciativa da ERSE acompanha uma tendência europeia que procurou delimitar as situações em que o conceito de “força maior” é aplicável ao setor elétrico. Adicionalmente, o conceito de “evento excepcional” tem sido adotado por todos os reguladores europeus, embora com diferenças entre os vários países. Podem ser utilizados métodos estatísticos ou outros critérios na avaliação de eventos excepcionais, tais como o número de consumidores afetados por interrupções no fornecimento ou a duração dessas interrupções.

“

O tratamento de eventos de alto impacto desempenha um papel crucial.

A título ilustrativo, a ERSE estabelece, desde 2014, que podem ser considerados eventos excepcionais aqueles que reúnam as seguintes características:

Baixa probabilidade de ocorrência do evento ou de suas consequências;

Diminuição significativa na qualidade do serviço prestado;

Irrazoabilidade, em termos econômicos, que os operadores de rede e os comercializadores evitem todas as suas consequências; e

Não atribuição do evento e suas consequências aos operadores de rede ou aos comerciantes.

“

Os planos de contingência são essenciais para garantir uma resposta rápida e eficaz a eventos de grande impacto.



Adicionalmente, a ERSE introduziu o conceito de Incidente de Alto Impacto, definindo-o como qualquer incidente que, independentemente da sua causa, provoque uma ou mais interrupções que resultem no não fornecimento ou distribuição de mais de 50 megawatts-hora (MWh). Todos os incidentes de elevado impacto deverão ser objeto de relatório a ser enviado à ERSE, elaborado de acordo com metodologia definida em regulamento.

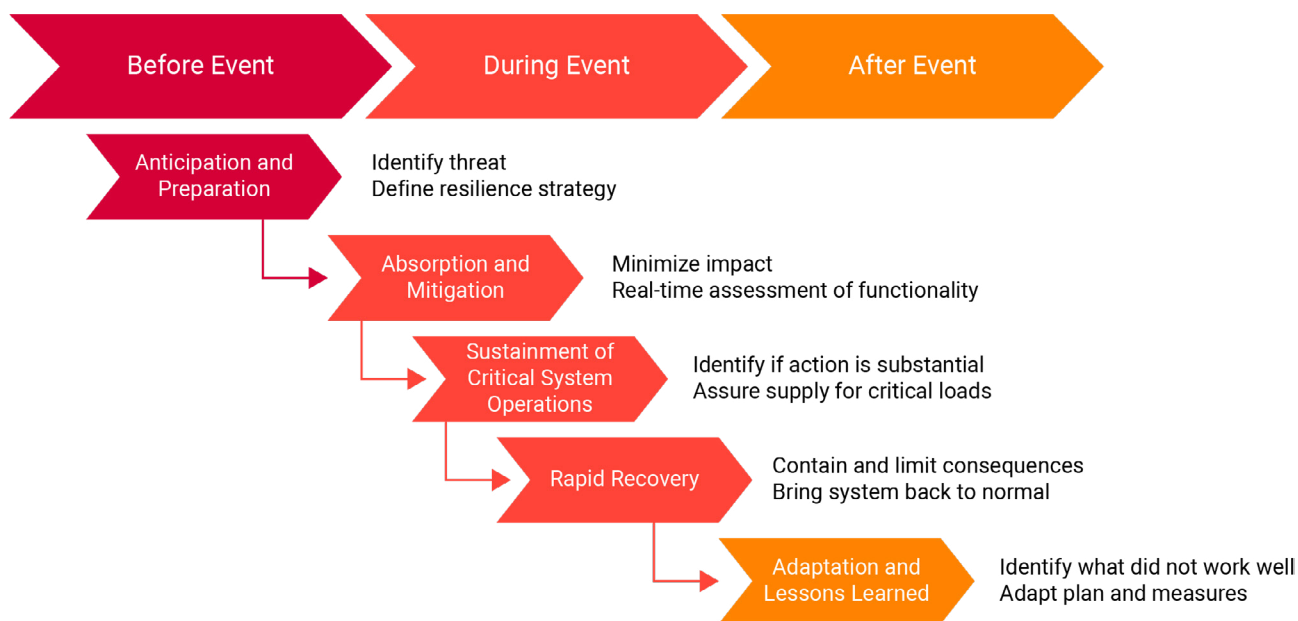
Ressalte-se que a classificação de Incidente de Alto Impacto, por si só, não significa que os operadores de rede possam ficar isentos de responsabilidades de pagamento de compensações. Tal isenção apenas ocorre quando, com base no processo de avaliação, é possível concluir que o evento e as suas consequências não são imputáveis aos operadores de rede.

Nos demais países europeus, basta que o distribuidor envie provas documentais, de acordo com parâmetros meteorológicos pré-definidos, sem ter de esperar que um organismo externo declare que se trata de um evento de grande impacto. No entanto, a Rede Europeia dos Operadores de Redes de Transporte de Eletricidade (REORT-E) estabelece diretrizes para a qualificação de eventos de elevado impacto, classificando-os de acordo com a sua gravidade e frequência. Esta classificação permite às empresas gerirem melhor os riscos e desenvolver planos de contingência específicos.

## RESPONSABILIDADES DOS DSOs

A ocorrência de eventos de alto impacto impõe uma série de responsabilidades críticas às empresas de distribuição de energia, para garantir a continuidade do serviço, minimizar danos e proteger os consumidores. Estas obrigações vão desde a preparação prévia até a resposta imediata, recuperação pós-evento e conformidade regulatória.

Figura 2. Responsabilidades dos DSOs durante um evento de grande impacto



Fonte: EPRI (2023a)

### Antes do evento: Preparação e planejamento

Realizar avaliações de risco, identificar e mapear áreas da rede de distribuição mais vulneráveis a diversos tipos de eventos de alto impacto e avaliar as possíveis consequências desses eventos na infraestrutura, na operação e nos usuários.

Desenvolver e manter planos de contingência atualizados que estabeleçam procedimentos para resposta a emergências, definam protocolos específicos para diferentes tipos de eventos e garantam que sejam conhecidos por todo o pessoal.

Treinar o pessoal na execução de planos de contingência e na resposta a emergências, e realizar exercícios regulares para avaliar a eficácia dos planos de contingência e fazer os ajustes necessários.

### Durante o evento: Resposta imediata

Ativar planos de contingência assim que for detectado um evento de grande impacto e mobilizar os recursos humanos, técnicos e materiais necessários à resposta.

Realizar uma inspeção rápida e precisa das infraestruturas afetadas para identificar danos e dar prioridade às reparações, bem como implementar medidas de contenção para evitar mais danos e proteger instalações críticas.

Informar as autoridades reguladoras, agências de emergência e consumidores sobre o evento, suas implicações e as medidas que estão sendo tomadas.

Monitorar e operar a rede para acionamento de transferências de carga por emaranhados, operações ilhadas e acionamento de geradores de emergência, com o objetivo de fornecer energia elétrica emergencial para consumos prioritários ou críticos.

Realizar reparos urgentes para restaurar o fornecimento de energia o mais rápido possível e utilizar sistemas de backup para minimizar interrupções de serviço.

### **Depois do evento: Recuperação e reabilitação**

Abordar reparações mais complexas que não puderam ser concluídas durante a fase de resposta imediata e reavaliar a infraestrutura reparada para garantir que se cumpram as normas operacionais e de segurança.

Preparar um relatório detalhado do incidente que inclua a causa do evento, os danos sofridos, a eficácia da resposta, as lições aprendidas e as oportunidades de melhoria.

Apresentar relatórios detalhados às autoridades reguladoras sobre o impacto do evento, a documentação de que o evento classificado como força maior ou caso fortuito foi de fato a causa da interrupção do serviço e as medidas tomadas para mitigar os efeitos do evento e restaurar o serviço no menor tempo possível.

“

A ocorrência de eventos de alto impacto impõe uma série de responsabilidades críticas às empresas distribuidoras de energia.



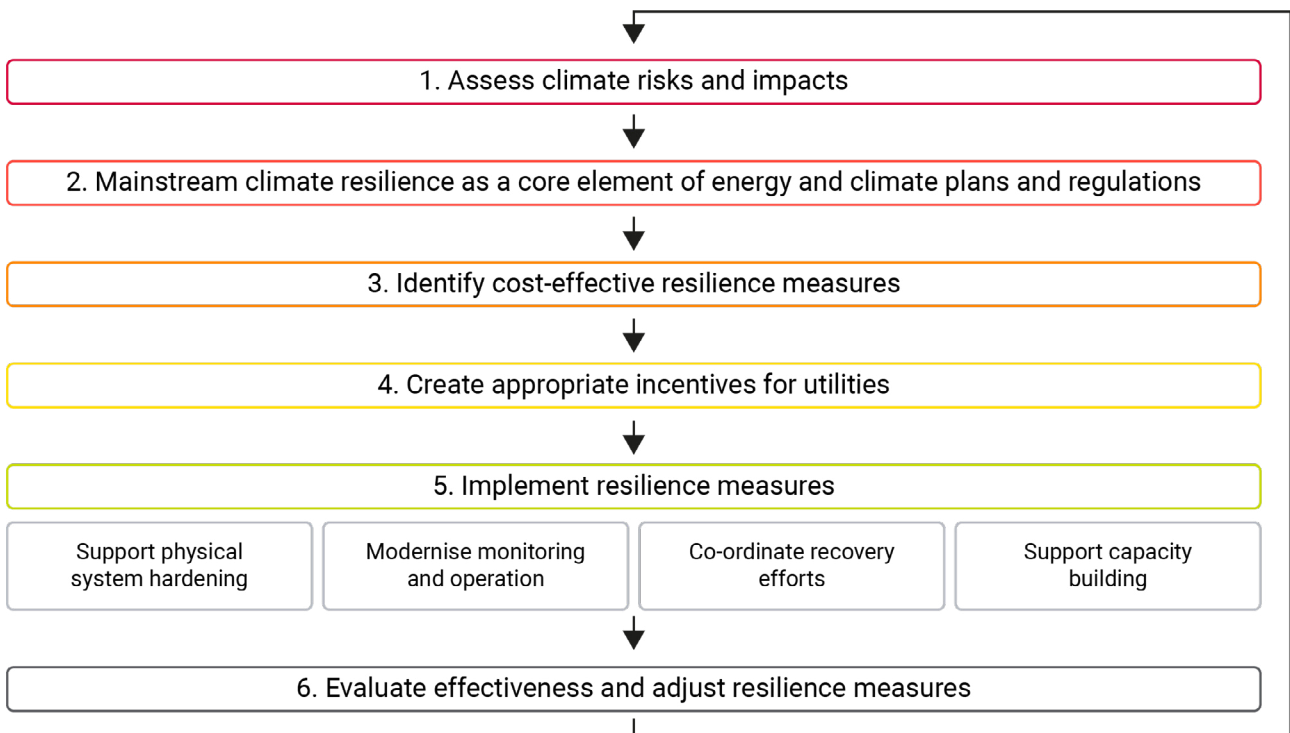
# 06

## REGULAÇÃO PARA A RESILIÊNCIA DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Os investimentos em resiliência enfrentam algumas barreiras originadas por falhas de mercado, que podem ser mitigadas por políticas públicas e pela regulamentação. Em primeiro lugar, os benefícios de investir numa maior resiliência só se materializarão provavelmente após anos ou mesmo décadas, enquanto o custo de capital da sua implementação é incorrido imediatamente. Em segundo lugar, quando eventos de grande impacto perturbam o fornecimento de eletricidade e causam grandes danos à sociedade, espera-se que os operadores suportem apenas uma fração do custo social total. Terceiro, as condições de mercado monopolistas e a falta de concorrência em alguns países desencorajam os fornecedores de investir em medidas de resiliência nos sistemas de distribuição (IEA, 2021).

Os decisores políticos e os reguladores têm um papel fundamental na promoção de sistemas elétricos resilientes, avaliando os riscos e impactos climáticos, tornando a resiliência um elemento central nos planos energéticos, identificando medidas com boa relação custo-eficácia, criando incentivos apropriados para os distribuidores e avaliando-os para verificar a sua eficácia, conforme ilustrado no diagrama a seguir:

**Figura 3. Esquema sequencial de medidas para a resiliência**



Fonte: IEA (2021)

Para isso, é essencial que as autoridades reguladoras implementem boas práticas que promovam de forma abrangente a resiliência através de planos de ação, metodologias de cálculo de índices de resiliência, sinais regulatórios para a remuneração de investimentos e adoção de novas tecnologias e soluções emergentes. Esta seção explora estes aspectos, fornecendo um quadro abrangente para melhorar a resiliência dos sistemas de distribuição elétrica.

## DEFINIÇÃO DE INDICADORES PARA MEDIÇÃO DA RESILIÊNCIA

Os parâmetros de resiliência das redes de distribuição não devem continuar imersos em indicadores de qualidade de serviço, dada a natureza extrema e atípica dos fenômenos climáticos. Pelo contrário, devem considerar a inclusão de um conjunto mais amplo de critérios, como a velocidade do vento, o nível de temperatura, o índice pluviométrico, entre outros. Assim, é fundamental definir uma metodologia para calcular os indicadores de resiliência da rede e, portanto, orientar as ações para atingir o nível de resiliência desejado. Estes indicadores podem ser de três tipos:

**Índices de recuperação:** medem o tempo necessário para restaurar a funcionalidade completa da rede após um evento.

**Índices de Robustez:** Avaliam a capacidade da rede em manter o serviço durante um evento de alto impacto.

**Índices de Adaptabilidade:** Medem a capacidade da rede de se adaptar e melhorar em resposta a eventos adversos.



Segundo estudo desenvolvido pela EPRI (2023), as métricas para avaliação da resiliência devem atender aos seguintes atributos: ser verificáveis, facilmente interpretáveis, objetivas, facilmente acessíveis, comparáveis, claramente definidas e vinculadas às áreas de atuação. O estudo aponta alguns exemplos de métricas que podem ser utilizadas para avaliar a resiliência:

### Serviço elétrico para todos os clientes

Horas acumuladas de interrupção do cliente (horas).

Carga não atendida (kWh).

Número médio ou porcentagem de clientes que sofreram uma interrupção

### Serviço elétrico para clientes críticos

Horas críticas de interrupção do cliente (horas).

Número médio ou porcentagem de clientes críticos que sofrem uma interrupção.

Serviços críticos sem energia.

Serviços críticos sem energia por mais de N horas

### Restauração

Tempo de recuperação.

Porcentagem de clientes que recuperam o serviço elétrico em um determinado período.

## PLANOS DE INVESTIMENTO PARA A MELHORA DA RESILIÊNCIA

De acordo com estudo realizado para o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID, 2021), as ações relacionadas à melhoria da resiliência das redes podem ser divididas em três categorias:

**Reforço da rede:** através de abordagens tradicionais, como a substituição de postes, o enterramento de ativos e o desenvolvimento de defesas contra inundações.

**Aumento da flexibilidade do sistema:** através de investimentos em redundância, reconfiguração de redes, recursos energéticos distribuídos (RED), microrredes e envolvimento do cliente para limitar o impacto de eventos extremos, através de programas de resposta à demanda.

**Restauração intensificada:** com mais recursos para minimizar o tempo de inatividade.

“

É fundamental definir uma metodologia para calcular os indicadores de resiliência da rede e assim orientar as ações para atingir o nível de resiliência desejado.

Estas ações podem ser incorporadas em planos de investimento detalhados para melhorar os níveis de resiliência com investimentos associados a tecnologias e soluções, que podem ter como objetivo reduzir a magnitude do impacto dos eventos (resiliência física da infraestrutura), ou minimizar o tempo de recuperação do sistema (resiliência operacional) (BID, 2021). Abaixo está um resumo das principais tecnologias utilizadas.

**Tabela 2. Tipos de investimentos em resiliência**

Resiliência da infraestrutura	Resiliência operativa
Gestão da vegetação	Equipes móveis para o restabelecimento provisional do fornecimento
Subterraneização seletiva de linhas	Gestão de equipes de reparos
Substituição de componentes por padrões superiores de desenho e construção	Sistemas de monitoramento e comunicação
	Microrredes e recursos energéticos distribuídos (RED)
	Esquemas de proteção e controle
	Sistemas de prognóstico
	Acordos de assistência mútua

Fonte: Elaboração própria com base em BID (2021).

Estes planos deveriam ser apresentados pelas distribuidoras ao Regulador e incorporados nos seus processos de revisão tarifária. Isto requer a definição de sinais explícitos de remuneração ex ante ao distribuidor para investimentos em projetos e soluções para melhorar a resiliência do sistema. Estes sinais podem ser acompanhados de bônus para empresas que ultrapassem determinados limites de resiliência, com base em indicadores previamente definidos.

## RECONHECIMENTO DE MECANISMOS DE ASSISTÊNCIA

Por outro lado, é fundamental não só que cada um dos agentes defina os seus planos de contingência para eventos extremos, mas também que estes sejam integrados através de Grupos de Assistência Mútua que coordenam ações entre distribuidores em áreas próximas para a troca de equipes, estabelecendo indicadores para as empresas que dão e recebem recursos, bem como as repercussões para os respectivos consumidores.

Caso o mecanismo de assistência mútua seja acionado, os gastos adicionais da distribuidora com esses recursos deverão ser compensados por meio de mecanismos tarifários. É importante que o reconhecimento tarifário seja garantido em qualquer caso de mobilização, mesmo que a intensidade do evento não se concretize como inicialmente previsto.



## BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS DE REGULAÇÃO PARA A RESILIÊNCIA

A resiliência dos sistemas de distribuição de energia elétrica é um objetivo cada vez mais prioritário na regulação de alguns países desenvolvidos, para enfrentar os desafios apresentados por eventos de alto impacto. Esta seção explora casos internacionais de sucesso na Europa e nos Estados Unidos, destacando a avaliação de riscos, mecanismos de previsão, planos de contingência, qualificação de eventos, mecanismos de resposta, incentivos regulatórios, indicadores de resiliência e inovações tecnológicas, que podem oferecer lições valiosas para os países latino-americanos.

### AVALIAÇÃO E MITIGAÇÃO DE RISCOS

Vários países introduziram diretrizes para avaliações de riscos e impactos climáticos. Por exemplo, o governo dos EUA desenvolveu orientações para avaliações de vulnerabilidade às alterações climáticas como o primeiro passo no planejamento da resiliência climática no sector elétrico, e fornece ferramentas para explorar os perigos climáticos e avaliar a vulnerabilidade e os riscos no sector eléctrico, através do Kit de Ferramentas de Resiliência Climática (US Climate Resilience Toolkit) dos EUA. Estas avaliações podem ajudar no desenvolvimento de estratégias e planos para a resiliência climática e permitir que os países identifiquem medidas eficazes com base em provas científicas.

Na União Europeia, são estabelecidos requisitos gerais para as avaliações da adaptação climática dos seus estados membros. No entanto, a profundidade e a cobertura das avaliações variam entre os países. Países como a Estônia, a Finlândia, a França, a Alemanha, a Itália, Portugal, a Suécia e os Países Baixos realizaram avaliações do impacto, da vulnerabilidade e dos riscos das alterações climáticas nos seus sistemas eléctricos, enquanto outros, como a Eslovênia, Malta e Bulgária, ainda não o fizeram. Embora este método de avaliação do sistema energético tenda a abranger a eletricidade como uma peça-chave, as áreas de enfoque diferem consideravelmente, variando desde a disponibilidade de recursos para a produção de eletricidade até a demanda de energia elétrica.

Estas iniciativas podem ser acompanhadas pela criação de fundos específicos para combater catástrofes; a melhora da governança em casos de declaração de emergência; a ampla discussão com a sociedade sobre a definição de eventos de alto impacto e a melhor forma de preveni-los e combatê-los; a criação de protocolos de ajuda mútua entre as distribuidoras para a mobilização de equipamentos e recursos adicionais para o restabelecimento do serviço em eventos extremos; e o desenvolvimento de planos integrados para Mudanças Climáticas, com governança conjunta entre distribuidoras, reguladores e governos nacionais, estaduais e municipais.

Além disso, é essencial que as avaliações de risco sejam acompanhadas de medidas de mitigação abrangentes, tais como a poda preventiva de árvores perto das linhas de distribuição eléctrica, a consideração de critérios de resiliência para infraestruturas eléctricas no planejamento urbano e a sensibilização do público sobre como evitar comportamentos que aumentem o risco. Um exemplo recente dessas medidas é a Lei 20.081 de 2019, promulgada no estado do Paraná (Brasil), que estabelece limites ao plantio de árvores exóticas e nativas próximas a linhas e redes de distribuição de energia elétrica.

Finalmente, a coordenação entre autoridades governamentais, empresas de distribuição de eletricidade e organizações de resposta a emergências (bombeiros e Defesa Civil) é crucial para uma gestão eficaz dos riscos. Dados os casos recentes e as evi-

dências de que os eventos climáticos extremos se tornarão cada vez mais frequentes, é necessário melhorar os processos e a governança da coordenação entre estas organizações.

## **MECANISMOS DE PROGNÓSTICO E ANTECIPAÇÃO**

O Sistema Europeu de Alerta Rápido, utilizado em vários países europeus, combina dados meteorológicos, geológicos e técnicos para antecipar eventos de alto impacto e coordenar respostas rápidas. Além disso, países como a Alemanha e o Reino Unido integraram tecnologias de redes inteligentes com sistemas avançados de previsão meteorológica. Estes sistemas permitem antecipar eventos climáticos extremos e preparar respostas adequadas.

Na Itália, as empresas utilizam ferramentas como o Weather Alerting, que fazem previsões e calculam o impacto das condições meteorológicas na infraestrutura da rede. A saída é um nível de risco que indica a probabilidade de ocorrer uma emergência na rede nas próximas 72 horas. Este aplicativo também permite monitorar informações específicas sobre ventos, chuva e temperatura em resolução horária para uma determinada área. A qualidade da previsão depende do número de centros meteorológicos públicos e privados disponíveis. O índice de resiliência, denominado IRI, incorpora a probabilidade de ocorrência do evento antes e depois da medição (neste caso, multiplicando a projeção pelo número de clientes afetados).

Nos Estados Unidos, o Centro Nacional de Previsão e Análise de Energia utiliza big data e análises preditivas para antecipar eventos de alto impacto na rede elétrica. Ferramentas como o GIS (Sistema de Informação Geográfica) ajudam a mapear riscos e planejar respostas. Além disso, o Departamento de Energia (DOE) financia pesquisas para desenvolver modelos preditivos avançados que antecipam falhas na infraestrutura elétrica devido a eventos naturais ou cibernéticos.

## **PLANOS DE CONTINGÊNCIA E GESTÃO DE CRISE**

O Reino Unido desenvolveu planos de contingência detalhados que incluem protocolos específicos para diferentes tipos de eventos, desde tempestades a ataques cibernéticos. Esses planos são revisados e atualizados periodicamente.

A França implementou uma estratégia de resiliência que inclui a modernização das infraestruturas, exercícios regulares de crise e a criação de centros de comando para gerir emergências.

Na Itália, as distribuidoras definem planos de aplicação em caso de emergência, mas não é uma obrigação regulatória.

Nos Estados Unidos, a Agência Federal de Gestão de Emergências (FEMA) trabalha em colaboração com as empresas elétricas para desenvolver planos de contingência robustos. Estes planos centram-se na coordenação interagências e na rápida mobilização de recursos. Mais particularmente, o estado da Califórnia, propenso a incêndios florestais e terremotos, desenvolveu um sistema avançado de gestão de crises, que inclui a desativação controlada da rede elétrica para evitar incêndios e o rápido restabelecimento do serviço.

Nas distribuidoras do sudeste dos Estados Unidos e da costa do Golfo do México, é realizado treinamento anual de preparação para a temporada de furacões (DOE, 2010). Na Florida Power & Light, por exemplo, o plano de contingência é testado simulando atividades relacionadas à localização de interrupções, avaliação de danos, comunicação com clientes e funcionários e início da restauração do serviço. Neste contexto, há um grande foco na melhoria dos sistemas de registo do impacto das tempestades para a atualização dos planos de ação e adoção de novas medidas de resiliência (BID, 2021).

Os planos de contingência devem ter indicações específicas sobre quando os proto-

colos de emergência devem ser ativados e prever estratégias de comunicação claras e eficazes para manter a população informada sobre os riscos e as medidas de prevenção e resposta.

## MECANISMOS DE RESPOSTA E COORDENAÇÃO

Na União Europeia, é promovida a cooperação transfronteiriça na gestão de crises elétricas. Os países membros compartilham recursos e tecnologia para enfrentarem conjuntamente eventos de alto impacto. Além disso, países como a Alemanha e os Países Baixos implementaram plataformas de comunicação em tempo real que permitem às autoridades e às empresas de energia coordenar as respostas de forma eficiente.

No caso da Itália e Espanha (Barcelona e Ilhas Baleares), existe uma interação operacional obrigatória da concessionária de distribuição de eletricidade com outras entidades, como, por exemplo, os bombeiros e unidades médicas, para a recuperação das redes mais rapidamente, através de um comitê de crise, que é ativado automaticamente. Este comitê coordena todos os organismos responsáveis: a Câmara Municipal, a autoridade civil, os bombeiros, a polícia, as empresas de água, gás, eletricidade, proteção civil, entre outras. Para acionar os alarmes, a AEMET (Agência Meteorológica Estadual) utiliza indicadores com limites associados. Por exemplo, os ventos devem atingir velocidades superiores a 96 km/h com intervalos de 10 minutos ou menos. Uma vez ativado um alarme para prevenir condições meteorológicas extremas (por exemplo, um ciclone ou uma tempestade tropical), a autoridade tem a obrigação de mobilizar todas as agências envolvidas. Os processos com as responsabilidades de cada organização estão muito bem documentados.

Nos Estados Unidos existe uma longa tradição de assistência mútua por parte das empresas elétricas em resposta a eventos

climáticos severos, que foi recentemente padronizada em torno de programas de assistência mútua do Edison Electric Institute (EEI), de âmbito regional e natureza voluntária. Estes acordos são geridos por sete Grupos Regionais de Assistência Mútua (RMAG). Quando uma empresa necessita de assistência, faz um pedido através do grupo regional, que determina as necessidades de pessoal e equipamentos em cada caso. Existe um programa de alocação de recursos (RAMP UP), para que os líderes de cada RMAG possam acionar um evento online, e através de um algoritmo, a ferramenta possibilita à empresa solicitante acesso aos recursos de empresas vizinhas.

Neste modelo americano, a distribuidora que recebe o auxílio deve garantir apoio logístico em forma de alojamento, alimentação e combustível, ter todas as peças sobressalentes disponíveis (que também podem ser obtidas mediante acordo), e ter capacidade para enviar equipamentos de forma eficiente para o país. regiões afetadas (EPRI, 2013).

O Evento de Resposta Nacional (NRE) também foi definido como um regulamento que permite a expansão da assistência a nível nacional. Nestes casos, o CEO ou pessoa designada de uma empresa afetada pode declarar um NRE, que é reservado para grandes eventos. Para testar a capacidade de resposta, são organizadas simulações de furacões, terremotos e tempestades de gelo, nos quais também participam entidades governamentais, como o Departamento de Energia, o Departamento de Segurança Interna e a Agência Federal de Gerenciamento de Emergências (FEMA).

As distribuidoras que operam no estado da Flórida, altamente afetado por eventos climáticos extremos, especialmente furacões, também utilizam um esquema de coordenação por meio de EOCs (Emergency Operation Centers), que funcionam como um hub. A Florida Power & Light (FPL), por exemplo, forma a Equipe de Informações Críticas, que gerencia os processos RFA (Request for Action) e RFI (Request for Information) e interage com a polícia, bombeiros e EOCs.

No Japão, o Plano de Cooperação em Catástrofes visa uma recuperação rápida e flexível em caso de eventos de alto impacto, recorrendo a exemplos de cooperação entre empresas de transporte e distribuição de energia e gás. O Plano inclui disposições sobre aspectos como apoio mútuo entre operadores de transmissão e distribuição de energia; coordenação durante tempos normais para preparação contra eventos extremos, com base nas lições aprendidas de desastres naturais anteriores; divisão do país em áreas; elaboração de manuais de apoio mútuo para o restabelecimento da distribuição; criação de uma lista de instalações essenciais; cooperação com empresas de telecomunicações, forças de autodefesa e governos locais; desenvolvimento de um plano de comunicação entre empresas, governos e associações empresariais; e capacitação conjunta das equipes das empresas de transmissão e distribuição (BID, 2021).

No Brasil, devido às enchentes ocorridas no estado do Rio Grande do Sul entre o final de abril e o início de maio de 2024, pela primeira vez foi observada a mobilização de outros grupos de distribuição, além dos envolvidos na tragédia, como Enel e Light, que enviaram equipamentos e materiais para auxiliar os grupos Equatorial e CPFL na gestão da crise.

## **INCENTIVOS REGULATÓRIOS AOS INVESTIMENTOS EM RESILIÊNCIA**

Em Itália, desde 2019, os DSOs devem publicar e atualizar anualmente os planos de investimento em antecipação a eventos extremos, com um horizonte de três anos, classificados em três categorias:

Neve/congelamento de cabos (linhas aéreas de MT)

Ondas de calor (cabos subterrâneos de MT em áreas urbanas)

Tempestades/Queda de árvores (linhas aéreas MT)

Neste contexto, em 2023, a entidade reguladora definiu as primeiras disposições sobre mecanismos de bônus como incentivos para estas intervenções de desenvolvimento de redes de distribuição em antecipação a eventos extremos (Deliberação ARERA n.º 617/2023), oferecendo um incentivo a investimentos com maior benefício-custo, como a expansão de redes subterrâneas (ou modificação de aéreas para subterrâneas). Em particular, o plano de investimento em resiliência baseia-se nos seguintes critérios:

Mecanismo de recompensa baseado em resultados.

Aprovação do regulador com base em solicitação prévia do DSO.

Recompensa = 2 anos de benefício bruto com limite máximo + RAB (como típico CAPEX).

Cap = 13% do mínimo entre o custo esperado do investimento e o custo real do investimento.

É estabelecido um limite para as intervenções elegíveis para recompensa, em função do CAPEX total apresentado nos planos de investimento (até 15% do investimento total de 2024 para investimentos a realizar a partir deste ano).

Para investimentos realizados entre 2025-2027, um relatório anual antes de março do ano seguinte.

Existem incentivos semelhantes no Reino Unido onde, a partir de 2010, o Office of Gas and Electricity Markets (OFGEM) implementou o modelo denominado RIIO (Receita = incentivos + inovação + resultados). Neste novo modelo, as receitas tarifárias são determinadas através de incentivos para fornecer inovação e produtos aos consumidores. Quanto à resiliência do sistema, as empresas podem obter recursos como parte do acordo tarifário. Estes recursos podem ser utilizados para cobrir a proteção contra inundações, a ativação do black start, a segurança física de infraestruturas críticas e a

proteção de linhas aéreas através do abate de árvores (OFGEM, 2018).

Na Alemanha, o governo oferece subsídios e benefícios fiscais às empresas de eletricidade que investem em tecnologias de resiliência, tais como redes inteligentes e sistemas de armazenamento de energia.

Nos Estados Unidos, o Departamento de Energia fornece financiamento e subvenções a projetos que procuram melhorar a resiliência da rede elétrica, incentivando a adoção de tecnologias avançadas, enquanto a Comissão Federal Reguladora de Energia (FERC) implementa regulamentos que permitem às empresas recuperarem os custos associados a investimentos de resiliência por meio de tarifas.

## INDICADORES PARA A MEDIÇÃO DA RESILIÊNCIA

Em Itália, a resiliência da rede é medida como o benefício em termos de menos utilizadores desligados (delta IRI). Adicionalmente, os bônus para investimento em redes em antecipação a eventos extremos são definidos de acordo com o desempenho nas seguintes categorias:

B1 - Redução esperada de interrupções para clientes finais devido à maior resiliência da rede em condições extraordinárias.

B2 - Custos evitados por ações emergenciais após interrupções por eventos extraordinários.

B3 - Redução esperada nas interrupções para clientes finais em condições normais.

B4 - Custos evitados por ações emergenciais após interrupções por eventos ordinários.

B5 – Redução de perdas de geração de fontes renováveis devido a interrupções.

B6 - Redução esperada de quedas graves de tensão.

B7 - Custos extraordinários de manutenção pós-falha evitados como resultado da intervenção.

B8 – Custos esperados de operação e manutenção evitados continuamente (por exemplo, manutenção preventiva evitada e corte de árvores evitado).

B9 - No caso de intervenções para interconectar à rede trechos de rede previamente isolados, a redução esperada no custo de geração de eletricidade e outros custos pela substituição do vetor energético.

B10 - Redução (ou, com sinal negativo, aumento) de CO2 devido à variação esperada nas perdas da rede.

A França e a Espanha também avançam no desenvolvimento de sistemas de avaliação que combinam métricas de desempenho técnico, capacidade de resposta e redundância da rede para qualificar a resiliência dos sistemas de distribuição. Nos Estados Unidos, o DOE desenvolveu ferramentas que permitem às empresas avaliarem sua resiliência utilizando uma combinação de dados históricos, simulações e análises preditivas.



## CONCLUSÕES E APRIMORAMENTOS REGULATÓRIOS

Os eventos extremos de ocorrência cada vez mais frequente colocam a necessidade de dar maior relevância ao conceito de Resiliência dos Sistemas Elétricos, com um enfoque baseado no risco para avaliar os possíveis impactos e priorizar investimentos. Um investimento proativo e informado para resistir e se recuperar melhor de um evento de alto impacto, em vez de reparações reativas em condições de crise, pode resultar em custos gerais mais baixos a longo prazo (EPRI, 2023).

Na América Latina, os marcos regulatórios estão desenhados para promover a eficiência de custos e um crescimento estável na cobertura e acesso aos sistemas de distribuição, o que gera rigidezes crescentes que não respondem à crescente variabilidade climática e do entorno. A resiliência está considerada apenas em alguns documentos gerais de política e transição energética que ainda não se concretizaram em medidas regulatórias. Por isso, é essencial incorporar o conceito de resiliência em redes de distribuição ao nível da política pública e seu posterior desenvolvimento regulatório, para fomentar o investimento em infraestrutura, promover a adoção de tecnologias avançadas de previsão e gestão de crises, e estabelecer mecanismos de coordenação e resposta eficazes. Este processo deve considerar os seguintes elementos:

Envolver especialistas do setor para desenvolver diretrizes para quantificar o impacto social das interrupções na rede elétrica atribuíveis a Eventos de Grande Impacto, incluindo os efeitos econômicos, de segurança e de saúde.

Desenvolver guias e diretrizes sobre métodos baseados na avaliação de riscos e vulnerabilidades dos sistemas elétricos às mudanças climáticas para desenvolver estratégias baseadas em evidências e priorizar investimentos na mitigação de riscos na distribuição, como estratégias de poda preventiva de árvores e a incorporação de critérios de resiliência das redes no planejamento urbano. Isso deve ser realizado em colaboração entre autoridades governamentais, empresas de serviços públicos e organismos de atendimento a emergências.

Estabelecer diretrizes para a qualificação de Eventos de Grande Impacto, de acordo com sua severidade e frequência, delimitando a responsabilidade dos DSO em aspectos como a gestão de riscos e o desenvolvimento de planos de contingência.

Desenvolver planos de contingência detalhados para eventos de grande impacto, acordados entre o coordenador do sistema e as empresas de distribuição, que permitam alertar situações críticas e gerenciá-las para recuperar a normalidade. É fundamental que esses planos incluam protocolos específicos para diferentes tipos de eventos, desde tempestades até ciberataques, que sejam atualizados periodicamente, que incluam a realização de simulacros e treinamentos, que estejam acompanhados de ações de comunicação claras e eficientes, e que contem com um coordenador que harmonize as ações.

Sinais regulatórios para a implementação de mecanismos de previsão e antecipação, e sistemas de alerta precoce de situações de risco, que combinem dados meteorológicos, geológicos e técnicos para antecipar falhas da infraestrutura elétrica atribuíveis a eventos de grande impacto, e coordenar respostas rápidas.

Estabelecer mecanismos de assistência mútua que coordenem as ações entre as distribuidoras de áreas próximas, e outras

instâncias como autoridades civis, corpos de bombeiros, polícia e unidades médicas. Esses mecanismos devem contar com responsabilidades previamente atribuídas, disponibilidade de equipamentos e peças de reposição, mecanismos para determinar os custos de deslocamento, alimentação e alojamento das equipes a serem deslocadas, e garantia de reconhecimento tarifário em caso de mobilização das distribuidoras. As autoridades de regulação e supervisão devem participar no design desses mecanismos, estabelecendo indicadores para as empresas que cedem e recebem os recursos, bem como as repercussões para os respectivos consumidores.

Desenvolver indicadores e metodologias para a avaliação da resiliência dos sistemas de distribuição, separados daqueles relacionados aos indicadores de qualidade do serviço, dado o caráter extremo e atípico dos eventos de grande impacto. Tais indicadores devem incluir critérios de recuperação, robustez e adaptabilidade.

Promover o desenvolvimento de Planos de investimento para a melhoria dos níveis de resiliência operacional e da infraestrutura, com investimentos em tecnologias e soluções associadas a reforços da rede, aumento da flexibilidade do sistema e restauração intensificada, que seriam apresentados pelos distribuidores ao Regulador, e incorporados dentro de seus processos de revisão tarifária.

Incentivos regulatórios explícitos para a remuneração tarifária ex ante ao distribuidor pelos investimentos pertinentes para a recuperação do sistema frente a eventos de grande impacto, tais como: sistemas de diagnóstico automático de falhas, infraestrutura de resposta imediata a eventos de operação, centros de gestão de proteções, geradores móveis, sistemas móveis de armazenamento, sistemas de comunicações e serviços auxiliares, peças críticas e acessórios. Esses incentivos podem tomar a forma de bonificações tarifárias por investimentos, com base no desempenho nos indicadores de resiliência já propostos.



## REFERÊNCIAS

- ADELAT (2023). "Desafios e Aperfeiçoamentos Regulatórios da Distribuição de Energia Elétrica para a Transição Energética Latino-americana". Disponível em: <https://adelat.com/wp-content/uploads/2023/05/Policy-Paper-ADELAT-ES.pdf>.
- ANEEL (2021). Resolução Normativa No. 1000/2021 - Regras e Procedimentos de Distribuição (Prodist). Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>.
- Banco Mundial (2019). Stronger Power: Improving Power Sector Resilience to Natural Hazards. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/200771560790885170/pdf/Stronger-Power-Improving-Power-Sector-Resilience-to-Natural-Hazards.pdf>.
- BID (2021). Implementação de tecnologias inovadoras para melhoria de qualidade da distribuição considerando resiliência às mudanças climáticas. Disponível em: <https://www.iadb.org/Document.cfm?id=EZSHARE-1288692092-6>.
- Bruneau, M.; Chang, S. E.; Eguchi, R. T.; Lee, G. C.; O’rourke, T. D.; Reinhorn, A. M.; Shinozuka, M.; Tierney, K.; Wallace, W. A.; Von Winterfeldt, D (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake spectra*, v. 19, n. 4, p. 733-752, 2003.
- Climatempo (2024). "Resiliência: Definição, métricas e possíveis modelos regulatórios". Apresentação disponível em: [https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1ds0acaaN-l\\_UeVZA0QDbujPJYagRvxN](https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1ds0acaaN-l_UeVZA0QDbujPJYagRvxN)
- De Castro, N., et al. (2024). "A Resiliência das Redes de Distribuição de Energia Elétrica". *Broadcast Energia*. Disponível em: <https://energia.aebroadcast.com.br/tabs/news/747/47598156>.
- Empresas Eléctricas A.G. (2024). "Resiliencia: Definición, métricas y posibles modelos regulatorios". Apresentação disponível em: [https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1ds0acaaN-l\\_UeVZA0QDbujPJYagRvxN](https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1ds0acaaN-l_UeVZA0QDbujPJYagRvxN).
- EPRI (2013). Electrical Power Research Institute. Enhancing distribution resiliency: Opportunities for applying innovative technologies. Relatório técnico. Palo Alto, EUA: EPRI, Enero de 2013. 20 p.
- EPRI (2023a). Climate-Informed Planning and Adaptation for Power Sector Resilience. Disponível em: <https://www.epri.com/research/products/3002026317>.
- EPRI (2023b). Climate Vulnerability Considerations for the Power Sector: Transmission and Distribution Infrastructure. Disponível em: <https://www.epri.com/research/sectors/readi/research-results/3002026315>.
- Gaffney, Austin (2024). How Future Hurricanes Could Stress Power Grids of U.S. Cities. *New York Times*, 5 de julio de 2024. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2024/07/05/climate/hurricanes-power-outages.html>
- IEA (2021). Climate Resilience. *Electricity Security 2021*. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/climate-resilience>.
- Jufri, F. H.; Widiputra, V.; Jung, J. (2019). State-of-the-art review on power grid resilience to extreme weather events: Definitions, frameworks, quantitative assessment methodologies, and enhancement strategies. *Applied Energy*, v. 239, p. 1049-1065.
- OFGEM (2018). RIIIO-2 Framework Decision: Our approach to setting price controls for GB gas and electricity networks. Disponível em: [https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/docs/2018/07/riio-2\\_july\\_decision\\_document\\_final\\_300718.pdf](https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/docs/2018/07/riio-2_july_decision_document_final_300718.pdf)
- Sinapsis (2023). Como as mudanças climáticas impactam nossas redes de distribuição? Disponível em: <https://sinapsisenergia.com.br/como-as-mudancas-climaticas-impactam-nossas-redes-de-distribuicao/>.

