

Desafios da Transição Energética

Abril 2024

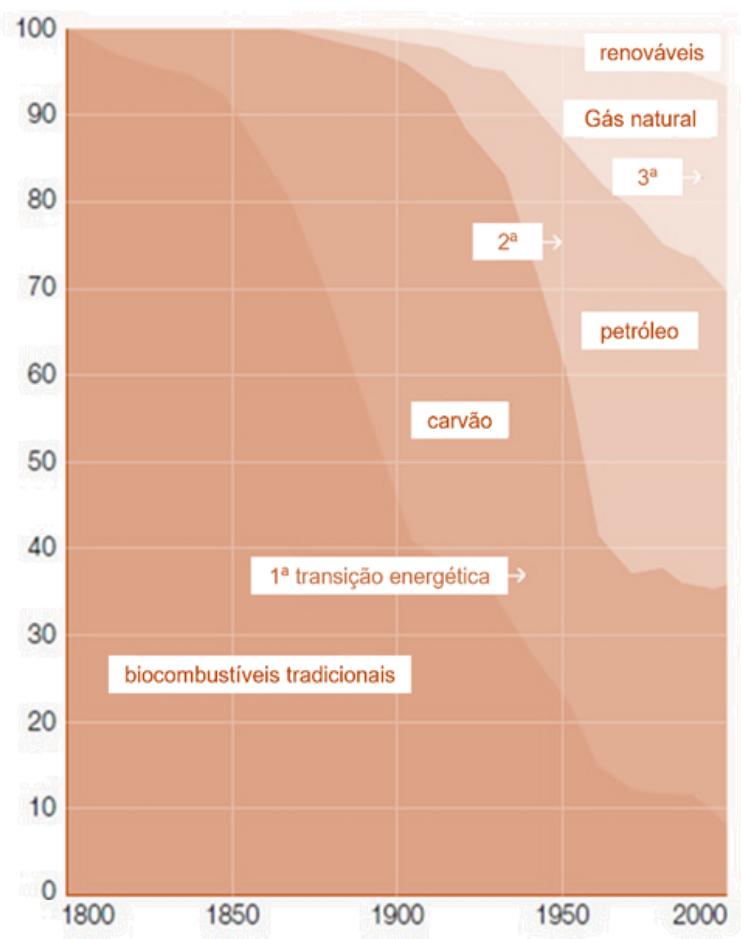


Conteúdo

1. Conceitos e Precauções
2. Confiabilidade futura
3. Desafios e Soluções no setor elétrico



Transição energética não é um plano de anos – e sim um projeto de décadas.



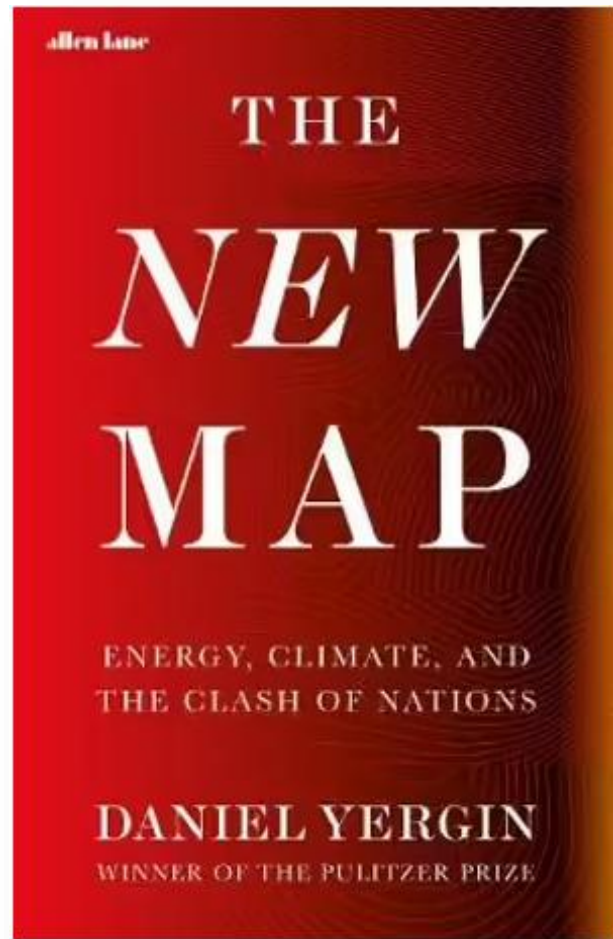
As três primeiras transições energéticas foram estimuladas principalmente por redução de custos e aumento de eficiência, que trouxeram grande prosperidade econômica para o mundo.

A atual transição é impulsionada sobretudo por preocupações de mudanças climáticas e sustentabilidade ambiental.

Será exitosa se atender a uma equação complexa que envolve o famoso “trilema”:

- **segurança energética,**
- **acesso à energia,**
- **crescimento e desenvolvimento econômico.**

Diferentes níveis de expectativa com relação à transição energética: desde um otimismo realista até a uma *ingenuidade arrogante* ...



Diferentes tipos de poder estão em jogo: um deles é o poder das nações que é moldado pela economia, capacidades militares e geografia.

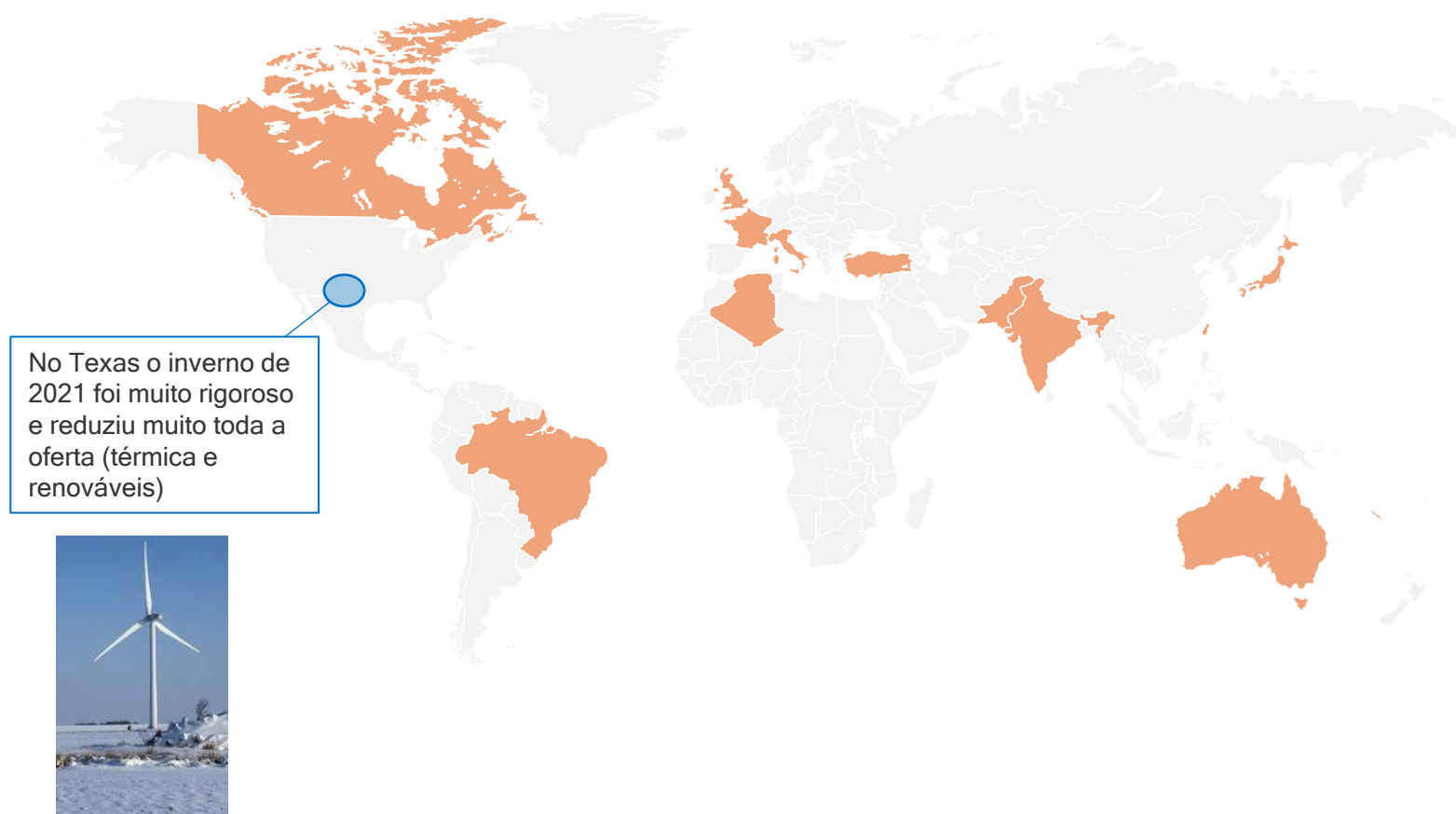
Outro tipo de poder é o proveniente da energia que vem do petróleo, gás, carvão, sol, da água, ventos e combustível nuclear.

E, por fim, um novo tipo de poder que emanará em função do reordenamento do sistema energético mundial promovido pela transição energética e do net zero.

Como esse “novo mapa” se desdobrará para as economias e para a vida das pessoas?:

1. O conceito de transição energética pode ter significados distintos, onde cada país tem uma compreensão própria, especialmente nos países em desenvolvimento;
2. O segundo desafio em responder à pergunta está relacionado aos diferentes níveis de expectativa com relação à transição energética, as quais poderíamos denominá-las desde um *otimismo realista até a uma ingenuidade arrogante*;
3. Como lidar com o imponderável - sinônimo de incalculável, indeterminado, inestimável e incomensurável - explica bem o ocorrido: pandemia, invasão da Ucrânia pela Rússia, crise energética na Europa e as ondas de calor.

Aumento dos eventos extremos: tempestades, inundações, variações nas precipitações, frio e as ondas de calor



Ondas de calor no mundo

	49.6 (2021)
	44.8 (2020)
	44.0 (2022)
	38.7 (2019)
	46.0 (2019)
	48.8 (2021)
	45.0 (2017)
	51.3 (2018)
	49.1 (2021)
	51.0 (2016)
	53.7 (2017)
	40.2 (2020)
	41.1 (2020)
	50.7 (2022)
	18.3 (2020)

As temperaturas ambientes excessivamente acima do histórico, em diversos locais ao redor do globo, vêm causando blecautes devido a uma combinação de fatores imprevistos: aumento repentino da demanda em patamar superior ao planejado, menor volume geração de energia ou maior indisponibilidade devido a falhas em equipamentos devido ao calor.

Devido a esses eventos, diversos órgãos passaram a considerar as previsões de ondas de calor nos seus processos de planejamento.

Recentemente, a Europa sofreu uma série de efeitos advindos das ondas de calor. E aumentou a preocupação com as secas simultâneas

Alguns eventos recentes na Europa:



França: teve que relaxar a restrição ambiental de despejo da água quente produzida pelas nucleares nos rios.



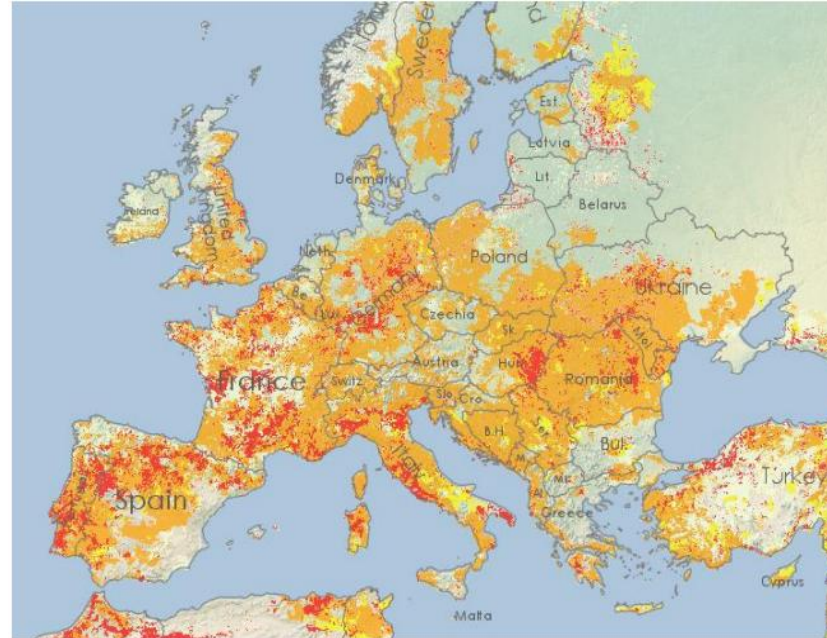
Portugal e Espanha: redução da produção das hidrelétricas



Alemanha: restrição de navegação do Rio Reno, que inclusive impedindo o descarregamento de carvão



Noruega reduziu a exportação de energia hidrelétrica para países vizinhos



Recentemente, a Europa sofreu uma série de desdobramentos **no sistema elétrico** advindo das ondas de calor

E aumentou a preocupação com as secas simultâneas

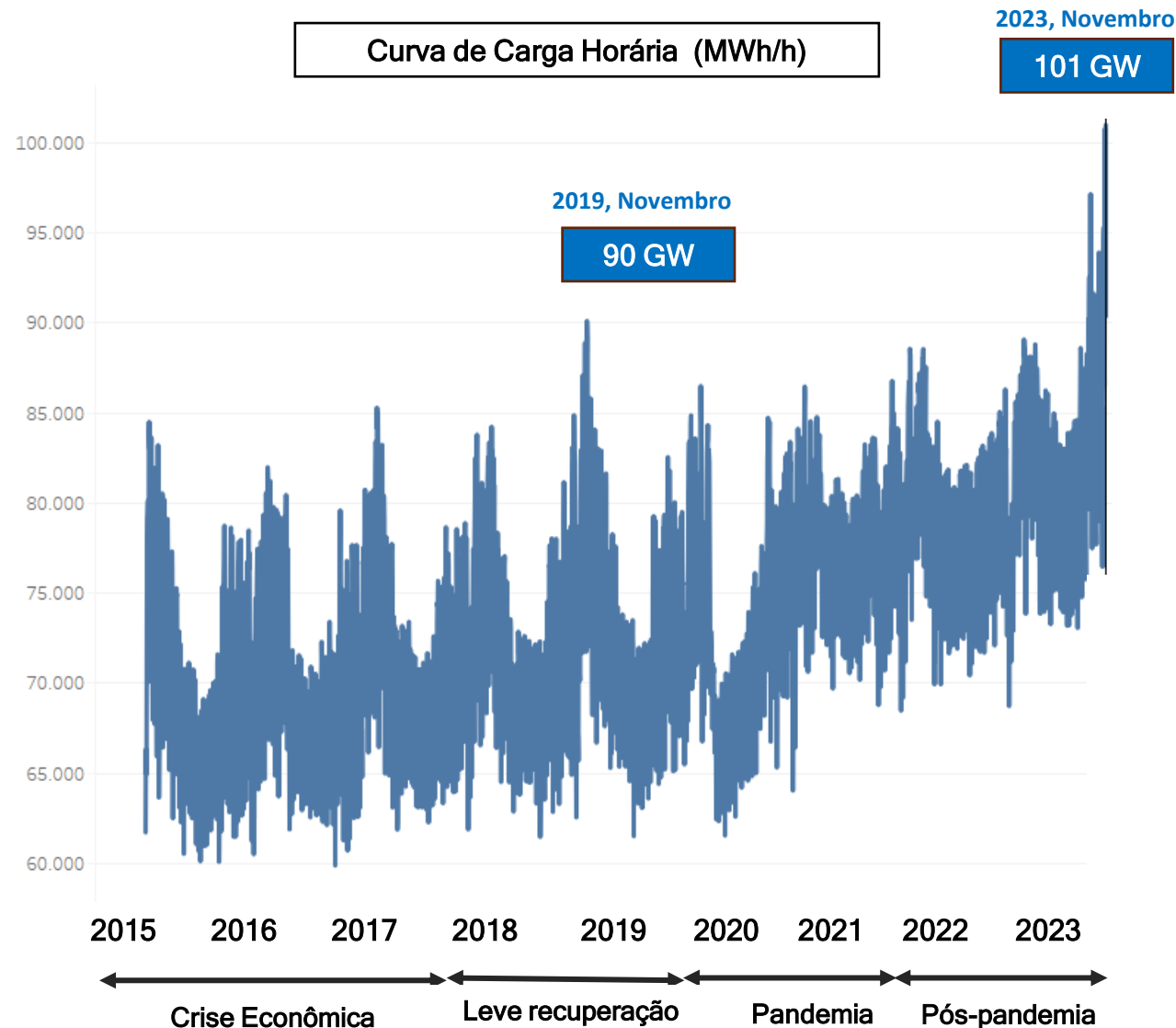
A União europeia publica anualmente relatório com o Combined Drought Indicator - CDI) e *vegetation stress*.



Ruínas de uma ponte construída por Nero no Rio Tibre

“Ruínas romanas apareceram depois de anos”

Comportamento do Mercado Brasileiro



A onda de calor no Brasil ocasionou um pico de carga que alcançou o “recorde histórico” bem acima dos anteriores

Fato - Sobreoferta e sobras nas distribuidoras

- O pico de carga (MW) e o consumo de energia (MWh) está crescendo pouco desde 2015
- O crescimento exponencial da GD também está reduzindo a carga líquida vista do atacado
- O portfólio de novas renováveis é imenso 40 GW eólicas e 180 GW solar

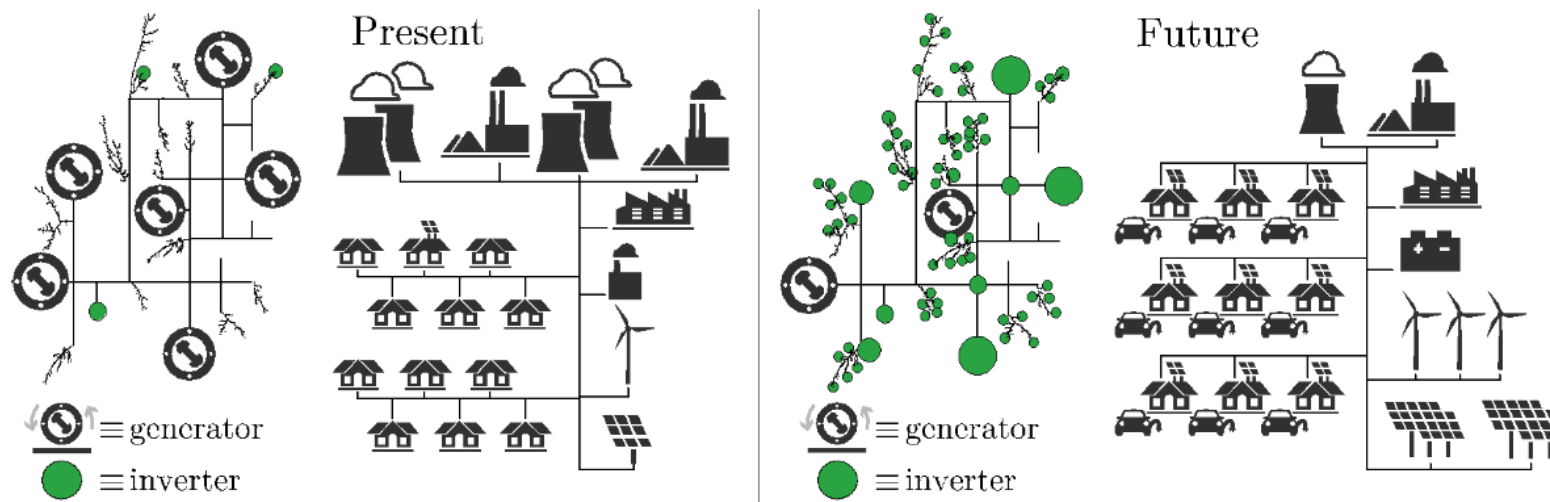
O crescimento padrão do mercado não será mais o único motor para a expansão - a eletrificação de outros segmentos é uma nova esperança

Conteúdo

1. Conceitos e Precauções
2. Confiabilidade futura
3. Desafios e Soluções no setor elétrico

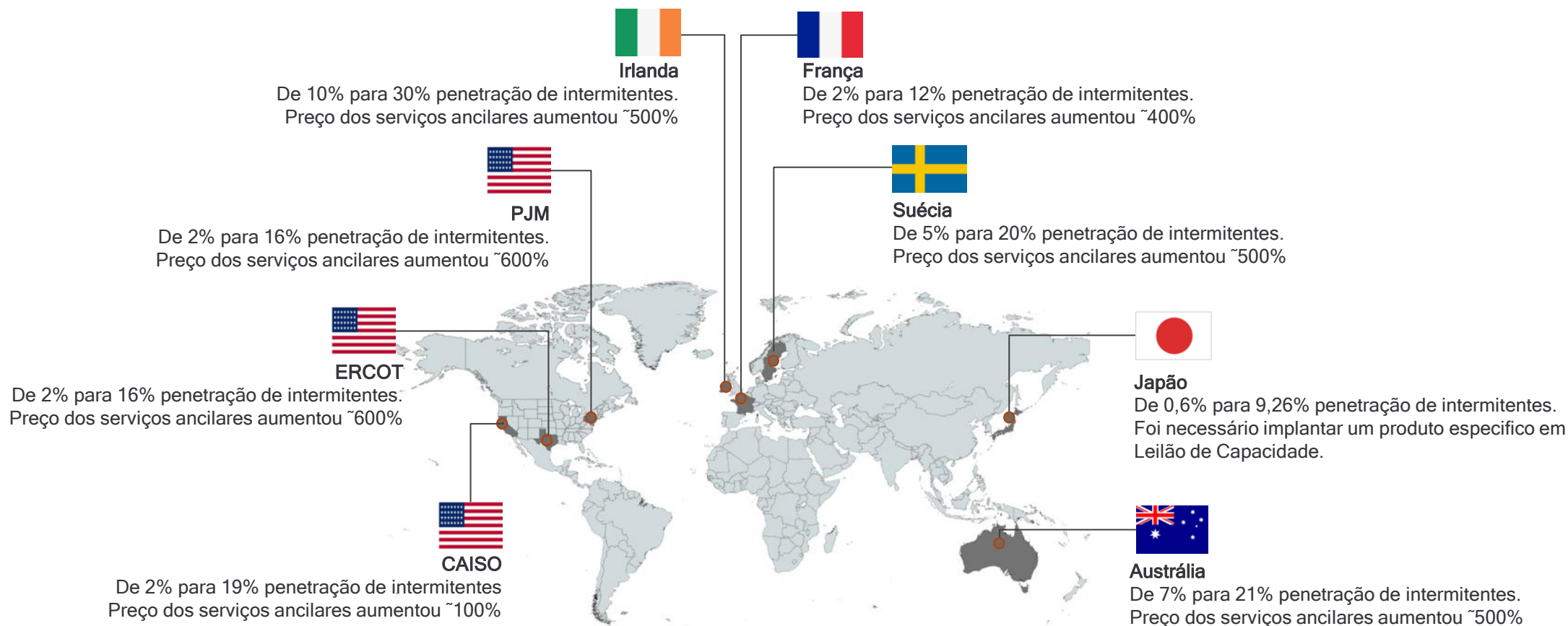


A operação do sistema elétrico do futuro é um tema de pesquisas intensas – a convivência com as fontes com inversores ...



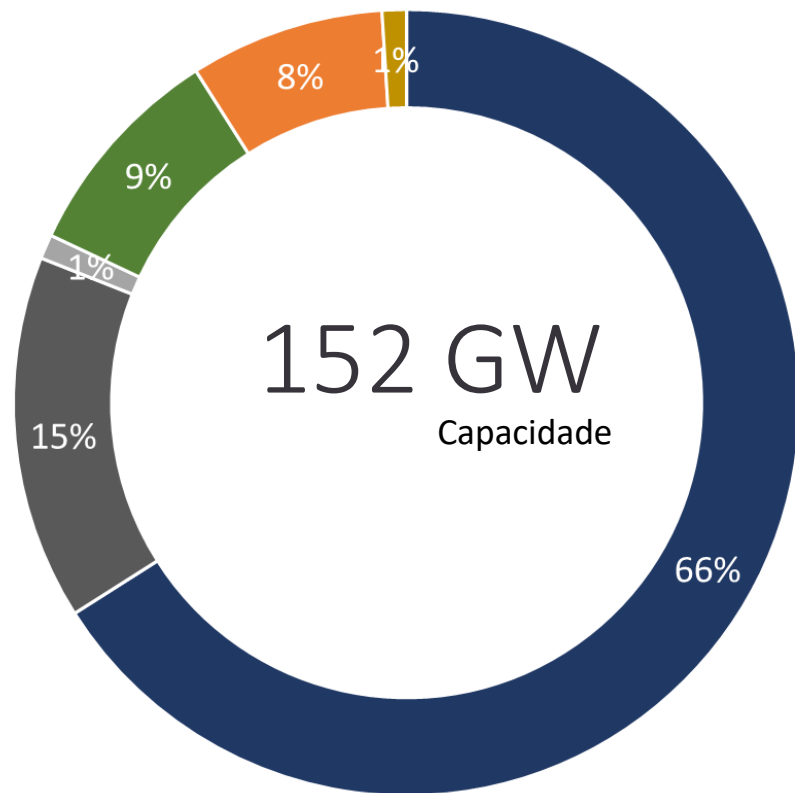
- O atual sistema de energia é dominado pela presença de geradores síncronos com grande inércia rotacional e foi projetado assim
- Os sistemas futuros terão uma fração significativa de recursos de geração baseados em inversores
- Isto implica na necessidade de formação de redes de próxima geração, com controladores que garantam a estabilidade da rede, em qualquer nível de penetração com recursos baseados em inversores.
- As pesquisas mais atuais estão relacionadas a cinco tópicos com redes dominadas por fontes com inversores:
 - ✓ controle de frequência
 - ✓ controle de tensão
 - ✓ proteção do sistema
 - ✓ recuperação pós-falhas
 - ✓ modelagem e simulação.

Fato que tem sido constatado em diversos mercados de energia: o aumento da demanda e custos na prestação dos Serviços Ancilares.

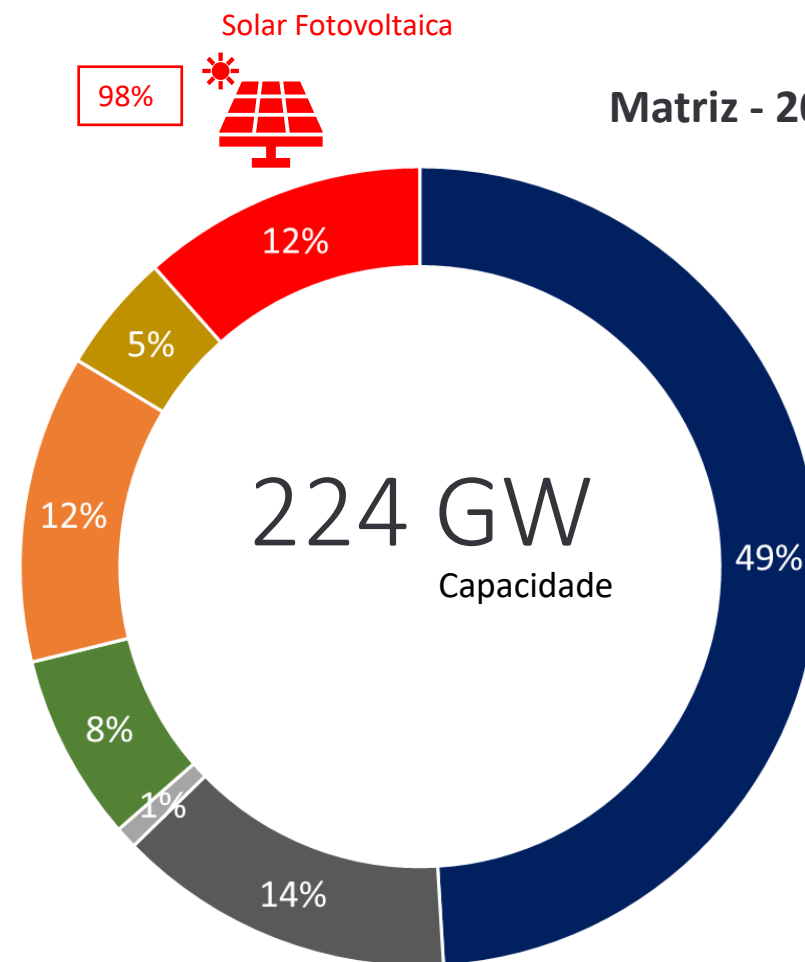


Momento SIN – Mudanças Aceleradas

Matriz - 2018

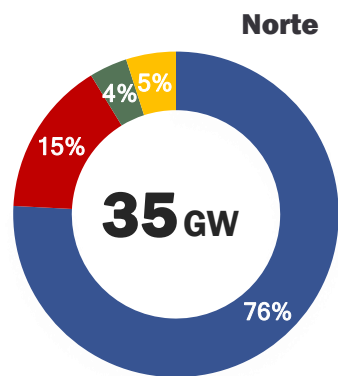


Matriz - 2024

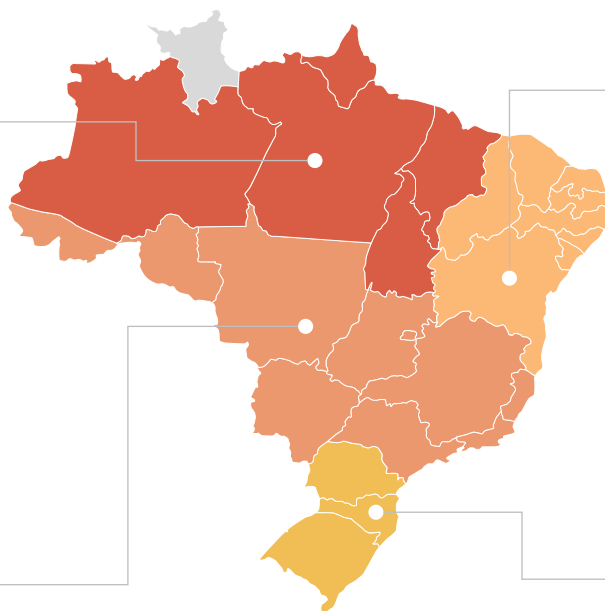
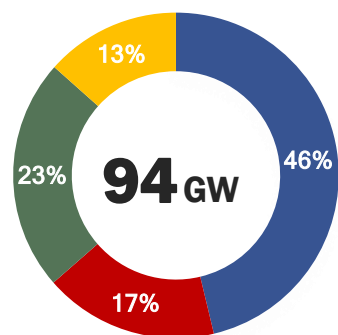


Momento SIN – Diversidade Regional

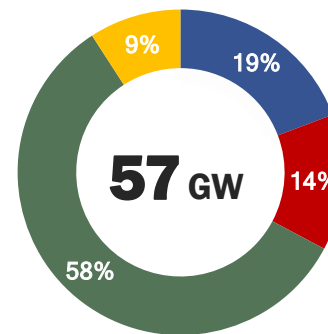
Total Capacity in Operation, Jan/2024
GW



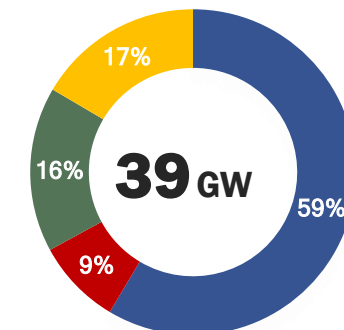
Sudeste/Centro-oeste



Nordeste



Sul



■ Hidro ■ Térmicas ■ Renováveis ■ GD

■ Nordeste

- ✓ Grande “hub” das renováveis

■ Norte

- ✓ Grandes hidrelétricas fio d’água

■ Sul

- ✓ Hidrelétricas com reservatórios pequenos

■ Sudeste

- ✓ Térmica gás natural na costa
- ✓ Biomassa (bagaço de cana)
- ✓ Grande expansão Solar na fronteira com Nordeste
- ✓ Hidrelétricas bem distribuídas com a maior capacidade de armazenamento

No dia 15/08 ocorreu a interrupção de 22,5 GW (25 estados e o DF), causado pela abertura da LT 500 kV Quixadá-Fortaleza II com atuação incorreta da proteção

No dia 15 de agosto de 2023 às 8:30 uma ocorrência no Sistema Interligado Nacional (SIN) causou a interrupção de cerca de 24 GW, do total de 73 GW que estavam sendo atendidos no momento, representando aproximadamente 33% da carga total daquela hora.

O evento também provocou na sequência a abertura das interligações do Nordeste com separação elétrica das regiões Norte e Sudeste/Centro-Oeste, com entre essas regiões, afetando 25 estados e o Distrito Federal.

Dia 15/08/2023 às 08h30min



● Início da perturbação:
LT 500kV Fortaleza II - Quixadá

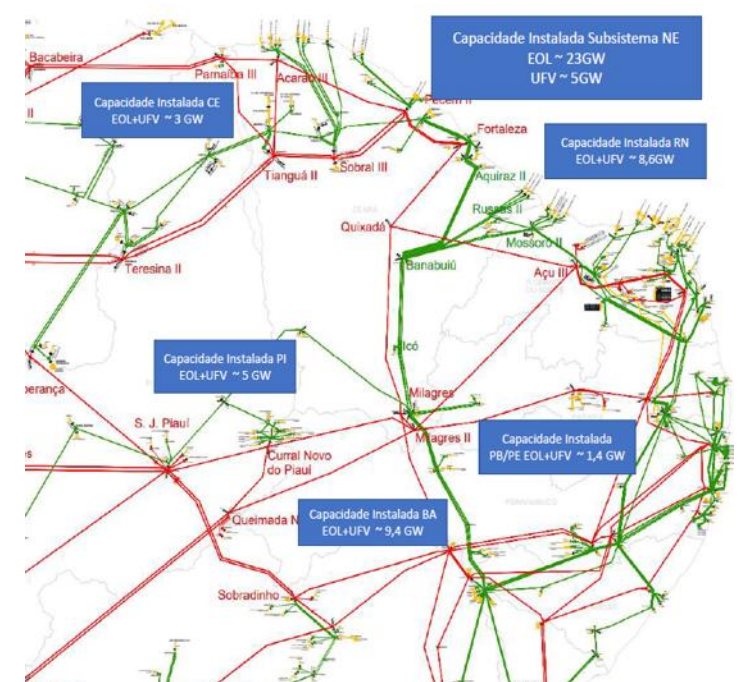
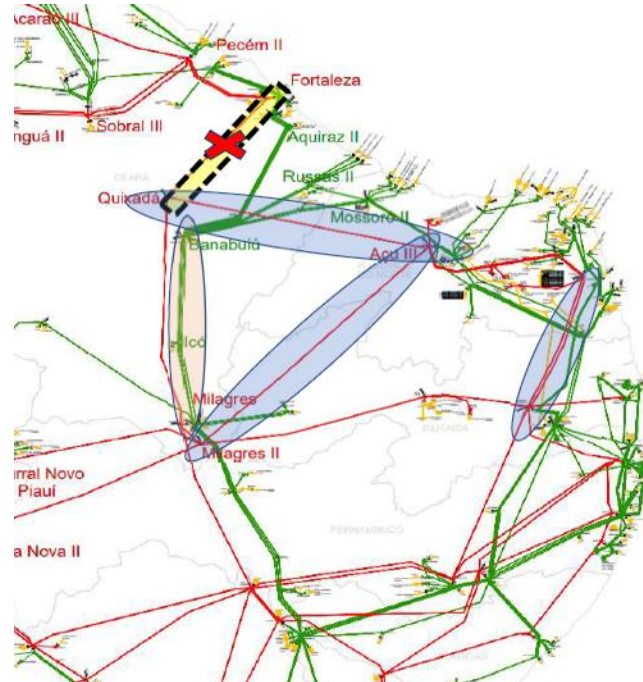
● Área afetada por corte de carga

≈ **12.689 MW**
N/NE

≈ **10.680 MW**
S/SE/CO

≈ **23.368 MW**
Corte de carga total

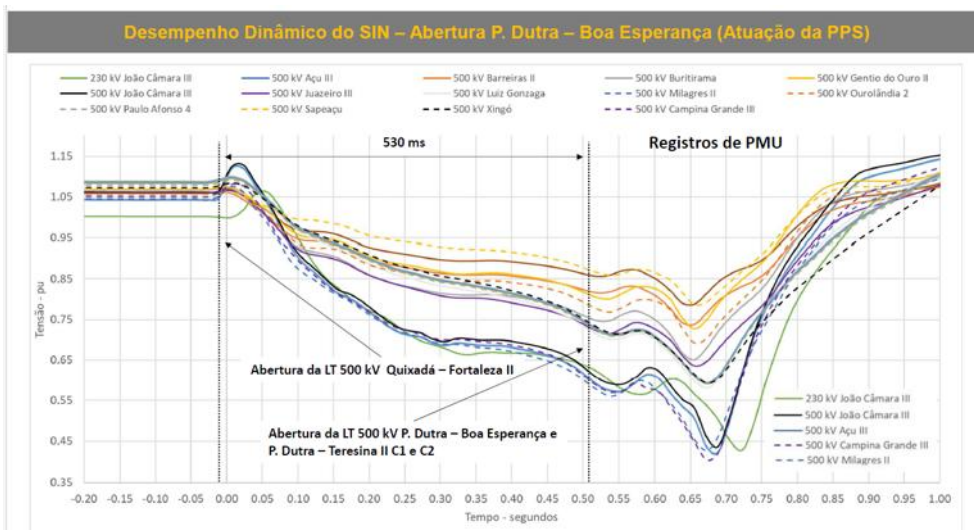
A abertura da LT 500 kV Quixadá-Fortaleza II foi provocada pela atuação incorreta da proteção de abertura sob falta durante a operação normal da linha.



A fragilidade do sistema numa ocorrência simples deixou o sistema em alerta

O efeito no SIN

Significativa redução de tensão no sistema, levando à abertura subsequente das grandes interligações devido à atuação da Proteção de Perda de Sincronismo (PPS) que busca isolar a “cascata de eventos”



Lição Aprendida - a nova matriz elétrica brasileira vai exigir novas práticas de operação, planejamento e regulação ainda não exercitadas no SIN

Sequência de Eventos

Marco Zero

A falha na proteção da LT foi induzida por um fluxo expressivo na linha devido a produção eólica, mas ainda dentro do limite. A falha oculta na proteção estava presente a muito tempo.

- O evento não apenas contrariou o famoso critério de planejamento conhecido como N-1, mas ocorreu num horário matinal de consumo mais acanhado, com plena disponibilidade de geração hídrica, térmica e renovável, demonstrando uma fragilidade preocupante do SIN
- As eólicas estavam ainda em plena produção e a energia solar começava a aumentar produção

Colapso de Tensão

Após o marco zero as tensões afundaram por falta de controles adequados

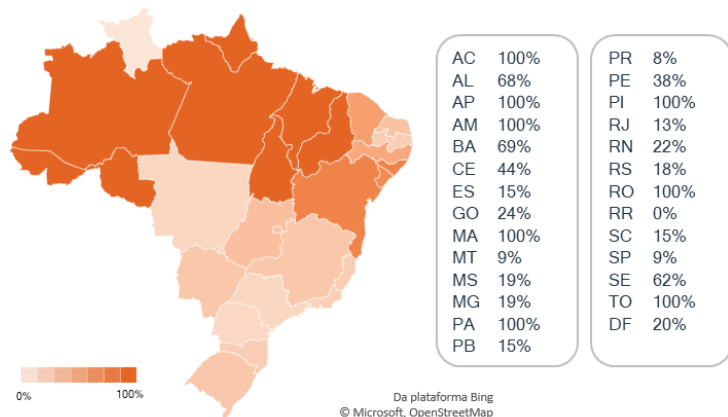
- a resposta das renováveis frente ao “marco zero” contrariou todas as expectativas do operador, com problemas na modelagem adotada nos estudos do ONS
- a consequente perda de produção das renováveis e a abertura das interligações afetou a frequência com atuação do ERAC em todo o SIN

Do dia seguinte em diante

A operação esteve numa posição mais prudente de exportação do NE, o que aumenta o nível de corte da produção eólica e solar, substituída por outras fontes tradicionais

O evento despertou uma atenção especial com a falta de resiliência do SIN, que não foi capaz de recompor o problema mais rápido

Carga interrompida (%)



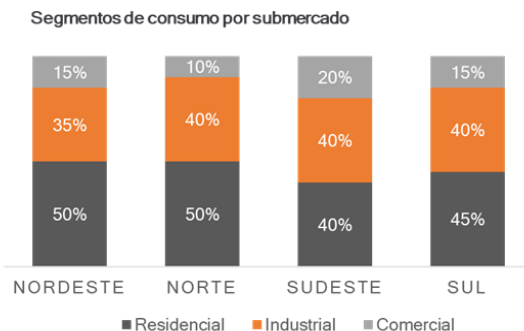
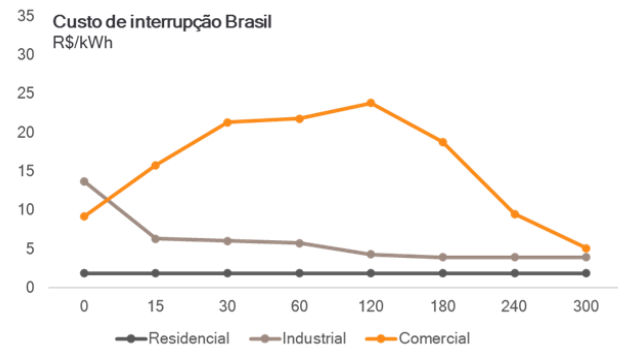
- O “marco zero” foi uma abertura de LT, mas a causa raiz identificada foi a performance dos equipamentos de controle de tensão em campo de diversos parques eólicos e fotovoltaicos
- O longo tempo de recomposição das cargas após o evento foi motivo de preocupação, principalmente na região Nordeste (mais que 5 horas).

Submercado	Início Recomposição	Conclusão
Sul	08h43min	09h05min
Sudeste/Centro-Oeste	08h52min	09h33min
Nordeste	09h12min	14h49min
Norte	09h19min	14h49min

- O RAP aponta a necessidade da adoção de várias providências por cada um dos agentes do setor e pelo próprio ONS até julho de 2024:
 - ✓ ajustes em proteções, envio de dados e simulações, até a validação dos modelos matemáticos

Qual o impacto econômico de um evento como este ?

O custo de interrupção para calcular o “valor da confiabilidade” para os segmentos residencial, comercial e industrial é estimado abaixo. O cálculo do “valor da confiabilidade” também depende da composição do mercado consumidor em cada região



Duração do evento Valor da Confiabilidade

5 horas e 30 minutos R\$ 629 MM

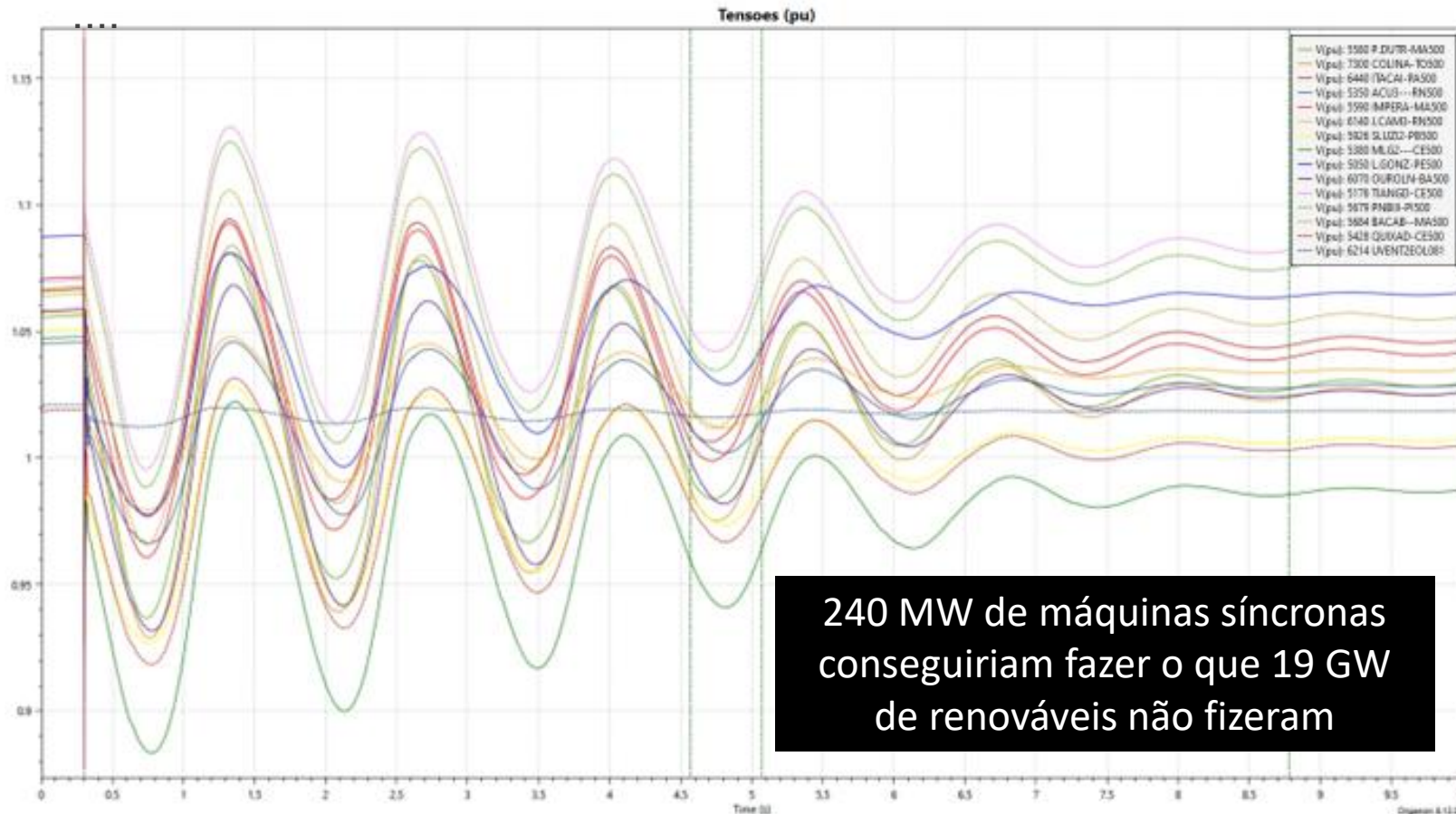
1 hora R\$ 110 MM

R\$ 729 MM

- Num evento em que a estabilidade e resiliência foram os problemas, a presença de máquinas síncronas com inércia e capacidade de controle é decisiva para evitar este custo

A operação de apenas uma máquina síncrona na região teria sido suficiente para evitar o evento

Caso a TERMOFORTALEZA (2 máquinas de 120MW) estivesse despachada no dia 15/08, o comportamento do perfil de tensão, embora ainda oscilatório, seria estável e o problema em cascata no SIN teria sido evitado



A Gestão no SIN

- Máquinas Síncronas têm efeito essencial para a confiabilidade do SIN
- Existiriam formas de se antecipar ao evento e despachar TERMOFORTALEZA ?:
 - ✓ Monitoramento dos níveis de Curto Circuito (SCR), níveis de inércia regional, qualidade do controle de tensão disponível , como indicado pelo NERC
- Sistemas de elevado nível de penetração de fontes com inversores - $SCR > 3$ é o mínimo indicado pelo NERC para evitar:
 - ✓ instabilidade de Tensão (V)
 - ✓ instabilidade da Proteção
 - ✓ perda da efetividade sistema de controle

15/8 - $SCR < 1$

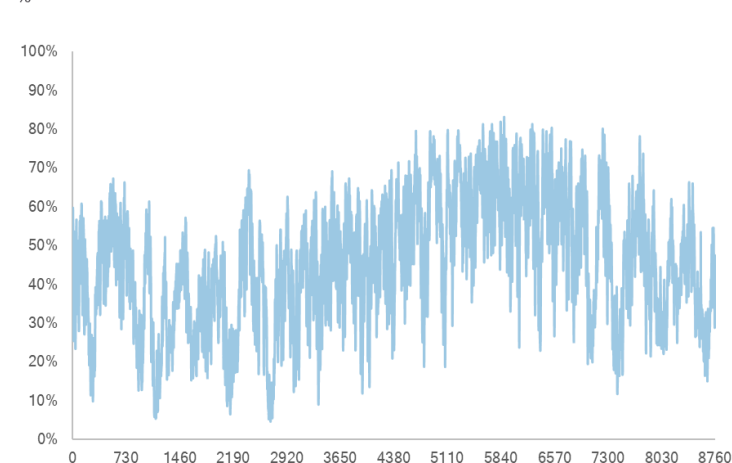
Conteúdo

1. Conceitos e Precauções
2. Confiabilidade futura
3. Desafios e Soluções no setor elétrico

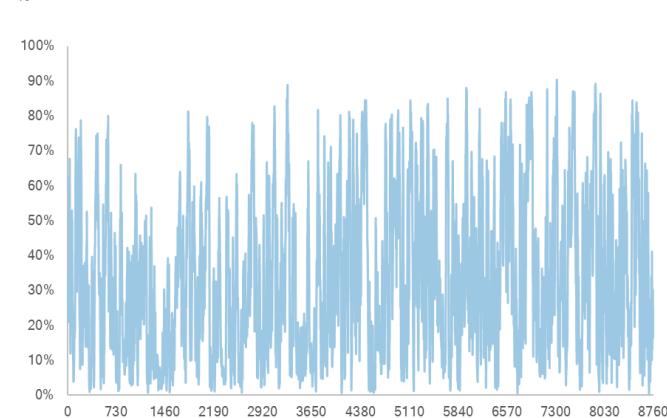


Desafio para o SIN com as energias intermitentes ...

Fator de Capacidade Eólicas - Nordeste 2021



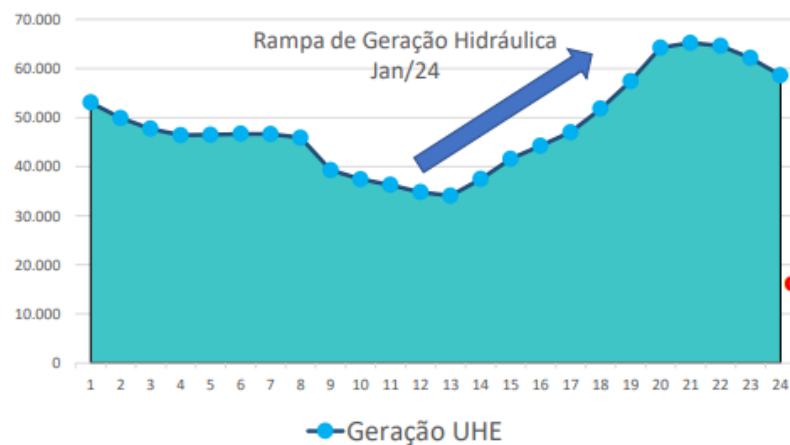
Fator de Capacidade Eólicas - Sul 2021



RAMPA

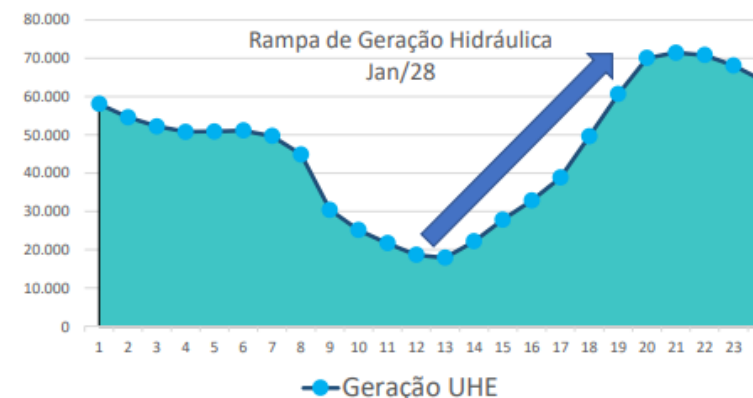
2024

Estimativa de rampa de carga de aproximadamente 25 GW

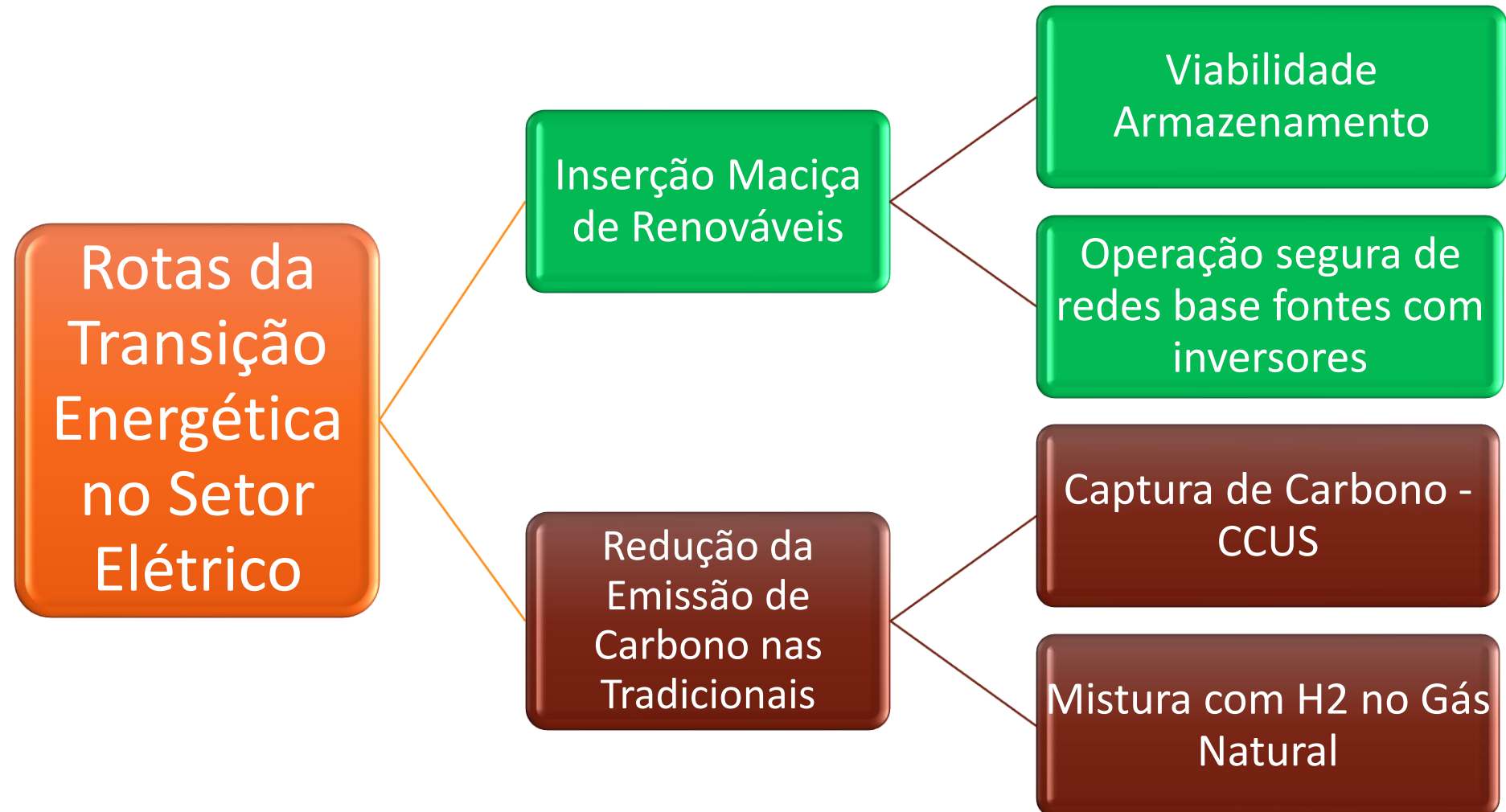


2028

Estimativa de rampa de carga de aproximadamente 50 GW



Possíveis Rotas da Transição Energética no Setor Elétrico – Soluções Complementares ...



Considerações e Recomendações Finais

- 1** Confiabilidade - a garantia da confiabilidade como um todo indica a aderência da geração tradicional (térmicas e hidrelétricas) como máquinas síncronas com vários atributos necessários para o SIN
- 2** Estudos Avançados - analisar intensamente as possibilidades reais de armazenamento (bateria e reversíveis), manter as máquinas síncronas com redução de emissões das térmicas (H2/GN e CCUS), aprimorar a capacidade de controle das renováveis (inversores mais robustos)
- 3** Alvo Transição - a setor elétrico já fez sua transição energética (2023 com 95% renovável) e o alvo mais racional é a eletrificação de outros setores energéticos - transporte e indústria respondem por cerca de 80% das emissões. A mudança passa pela mobilidade elétrica, troca de combustível atual por energia elétrica ou H2/GN. Efeito positivo de aumentar a demanda elétrica e aplicação da grande portfólio de energia renovável nestes segmentos.
- 4** Neutralidade Tecnológica - as fontes não despacháveis não podem ser adotadas no “mercado de capacidade” do SIN, já que são a “causa” e não podem ser a “solução” do problema confiabilidade. A aplicação do conceito “neutralidade tecnológica” no mercado de capacidade é uma decisão com riscos e deve ser evitada. As renováveis são imbatíveis no preço da energia, mas tem todos os atributos para a operação segura do SIN. A racionalidade técnica sugere a adoção paulatina de novas tecnologias no SIN.



Thymos Energia

✉ thymosenergia@thymosenergia.com.br

☎ (11) 3192 9133

🌐 www.thymosenergia.com.br

📍 Av. das Nações Unidas, 11541 | 10º andar | 04578-907 | Brooklin | SP
