

Desafios impostos pela transição energética ao Sistema Interligado Nacional¹

Nivalde de Castro²

Fernando França³

Lillian Monteath⁴

O processo dinâmico e irreversível da transição energética, cujo objetivo estratégico a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), é um tema que tem, de forma crescente, ocupado o topo e a prioridade das agendas de países, empresas, universidades e das mais variadas organizações sociais. O *modus vivendi* de emergência climática em que o planeta ingressou, tendo como exemplo o evento climático que ocorreu recentemente no Rio Grande do Sul, reforça a urgência de que sejam redobradas as atenções dos *policy makers* sobre o comportamento do clima, tópico no qual a evolução da matriz energética desempenha um papel central.

Neste contexto de desafios direcionados para o Setor Elétrico Brasileiro (SEB), o quinto artigo da série sobre transição energética, vinculado à parceria entre o GESEL-UFRJ e a Revista O Setor Elétrico, tem como objetivo central analisar os impactos, desafios e exigências referentes ao sistema de transmissão de energia elétrica, com ênfase nas implicações advindas da transição energética aos seus papéis e requisitos. Se, por um lado, a evolução tecnológica observada na geração, no armazenamento e na distribuição de energia elétrica constitui a base que permite a transição energética, é a transmissão que viabiliza a integração de fontes e dispositivos, preservando a segurança da operação do sistema. Portanto, é essencial que este segmento estratégico do SEB seja analisado.

Neste sentido, a análise deve partir da Rede Básica do Sistema Interligado Nacional (SIN), pela sua dimensão, complexidade e importância para o atendimento da quase totalidade da população brasileira. A malha principal de transmissão do SIN, que engloba instalações com tensão igual ou superior a 230 kV, tem experimentado uma expressiva evolução desde a implantação e consolidação do modelo regulatório deste segmento, que tem como um de seus pilares a concessão de novas outorgas por meio de processos licitatórios. Destaca-se que o

¹ Publicado na Revista O Setor Elétrico. Disponível em:
https://issuu.com/revistaosetoreletrico/docs/ose_204_finalsimples?fr=sNTY4NzcyNDI3MjcAcesso
em 18 de julho de 2024, pag. 18-22

² Professor do Instituto de Economia da UFRJ e coordenador geral do GESEL- Grupo de Estudos do Setor Elétrico.

³ Consultor do GESEL-UFRJ

⁴ Pesquisadora Plena do GESEL-UFRJ.

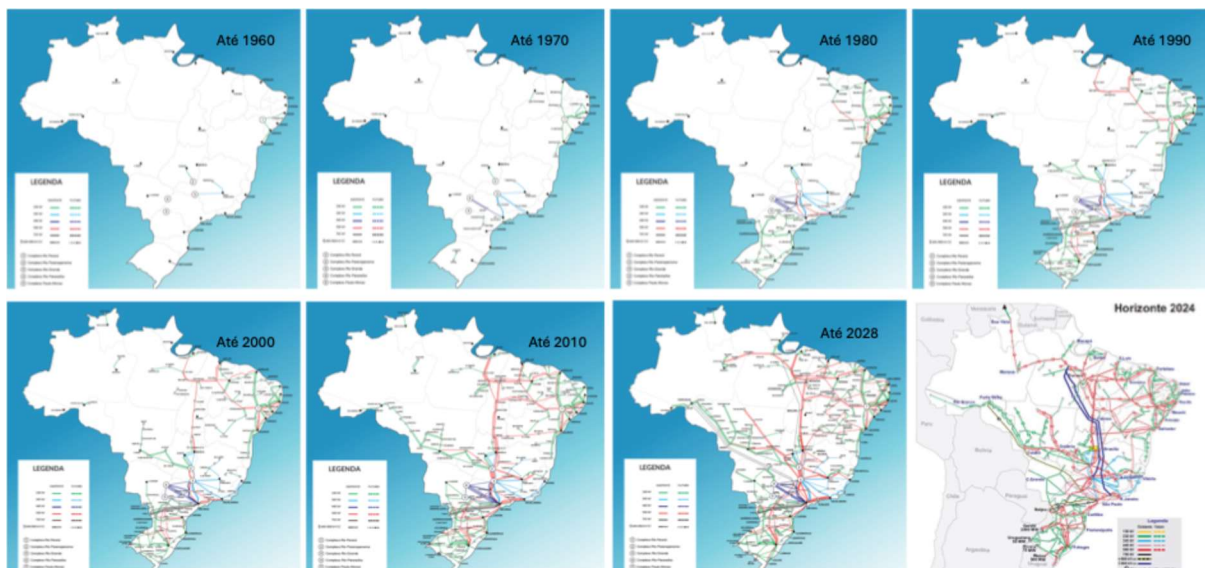
crescimento verificado da rede e os resultados obtidos nos sucessivos leilões, iniciados em 2000, atestam o sucesso do modelo regulatório da transmissão.

Até 1999, a Rede Básica somava cerca de 58.000 km de linhas de transmissão e era constituída por dois sistemas independentes, o Norte/Nordeste e o Sul/Sudeste/Centro-Oeste, que foram integrados por meio do primeiro circuito da interligação Norte-Sul em março daquele ano. De 1999 a dezembro de 2023, o SIN cresceu cerca de 200%, passando a operar 172.000 km de linhas de transmissão e interligar todas as regiões do país, incluindo áreas anteriormente isoladas, como aquelas atendidas a partir de Manaus, Macapá, Porto Velho e Rio Branco.

Parte importante desse crescimento está diretamente vinculada à necessidade de escoar a produção das grandes usinas hidrelétricas situadas na Amazônia, como Jirau, Santo Antônio, Teles Pires e Belo Monte. Recentemente, por sua vez, a expansão do SIN está ocorrendo em razão direta da ampliação da capacidade instalada de fontes eólicas, sobretudo na Região Nordeste, e fotovoltaicas, especialmente nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste. O crescimento tão expressivo dessas fontes renováveis, com impactos diretos no crescimento da rede de transmissão, ocorre através de subsídios cruzados, que recaem sobre os consumidores de energia elétrica, em um ritmo descontrolado. Merece ser destacado que as projeções do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) estimam que, em 2028, a Rede Básica deve superar 200.000 km de linhas de transmissão de alta tensão.

A Figura 1 expressa a dinâmica da impressionante evolução do sistema de transmissão no Brasil, no horizonte temporal de 1960 até 2028, com destaque para a expansão a partir de 2000 já sob a égide de um novo modelo de contratação baseado em leilões de lotes, derivados do planejamento.

Figura 1
Evolução da Transmissão: 1960-2028



Fonte: Eletrobras (2024). disponível em: <https://abrate.org.br/evolucao-da-transmissao/>

A Rede Básica do SIN presta serviços essenciais à sociedade brasileira, sendo que um dos mais importantes é garantir a disponibilidade e a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica aos milhões de consumidores brasileiros. É a rede de transmissão que permite que a energia elétrica esteja disponível para os consumidores de forma contínua e na quantidade exigida. Implicitamente associado a esse serviço, está a manutenção do equilíbrio dinâmico entre oferta e demanda de energia elétrica em cada instante, condição básica para a manutenção da frequência e da segurança da operação do sistema. Outro serviço fundamental provido pela rede é permitir a utilização dos recursos energéticos mais baratos disponíveis em cada momento, dado que a ordem de despacho das plantas geradoras de energia elétrica é determinada pelos respectivos custos, dos mais baratos para os mais caros. Esses e outros serviços são, de alguma maneira, impactados pelas transformações que estão sendo impostas pela transição energética.

A característica central imposta pela transição energética à produção de energia elétrica é, sem dúvida, a expansão da capacidade instalada de fontes renováveis, com destaque crescente para a geração distribuída. O potencial de aproveitamento desses recursos está disponível por praticamente todo espaço geográfico do país, que, pela sua dimensão continental, explica a taxa de crescimento do SIN. Por outro lado, uma característica técnica comum é que a geração renovável resultante não é controlável, sendo possível apenas pelas condições da unidade geradora e disponibilidade de vento e radiação solar.

Dessa forma, o impacto das fontes renováveis sobre a Rede Básica é crescente, pois ela precisa ser dimensionada para atender, ao longo do dia, variações rápidas de geração em múltiplos cenários de operação. Para tanto, é necessário que as interconexões sejam ainda mais capilares, como é largamente observado no SIN. Em suma, considerando a dimensão continental do SIN, a capilaridade das interconexões implica em investimentos crescentes na expansão da Rede Básica, de modo a garantir condições técnicas que viabilizem o equilíbrio instantâneo entre demanda e oferta.

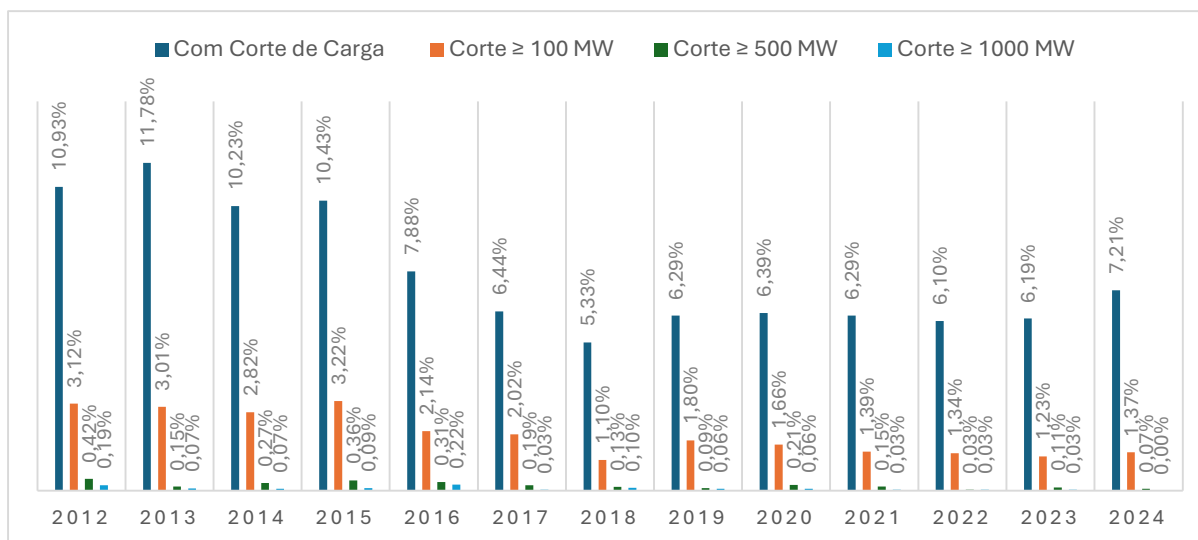
Além disso, a rede de transmissão deve ser dotada de recursos que proporcionem a adequada flexibilidade operativa para que seja possível lidar com a multiplicidade de condições vivenciadas no dia a dia da operação, decorrente da pulverização dos recursos renováveis. Destaca-se que o requisito de flexibilidade se torna mais e mais relevante com o crescimento da dimensão e da complexidade do SIN, resultado direto da transição energética.

Nessa mesma linha analítica, outra questão que ganha destaque, à medida que avança a transição energética, é a resiliência do SIN. Considerando a distribuição dos recursos, a natureza não despachável das novas fontes e o crescimento da interconexão, é necessário que a Rede Básica seja capaz de absorver impactos decorrentes de perturbações nas instalações de transmissão ou em grandes blocos de geração com mínimas consequências para os consumidores, retornando rapidamente a uma condição segura de funcionamento.

Sobre esse aspecto, a título de exemplo da sua magnitude, são registradas tipicamente mais de 3.000 perturbações no SIN anualmente, das mais variadas naturezas, das quais cerca de 6% a 7% resultam em algum tipo de corte de carga. O gráfico abaixo ilustra o desempenho da rede no que diz respeito ao requisito de confiabilidade, discriminando o percentual de perturbações que resultaram em qualquer corte de carga, em corte superiores a 100 MW, a 500 MW e a 1.000 MW. O resultado de 2024 é o acumulado entre janeiro e maio. Trata-se de um

indicador importante para avaliar a qualidade do serviço da transmissão, particularmente com a disseminação dos recursos energéticos distribuídos.

Gráfico 1
Perturbações com corte de carga na Rede Básica: janeiro de 2012 a abril de 2024
(em %)



Fonte: ONS (2024). disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/qualidade-do-suprimento-paineis.aspx>.

Observa-se que a transição energética em curso estabelece desafios novos ao segmento de transmissão que se somam àqueles intrínsecos ao tamanho e, sobretudo, à idade da Rede Básica do SIN. Dentre o que se pode considerar e classificar como novos, destaca-se o desafio imposto pela diferença de requisito de prazo para a implantação de instalações de transmissão e aquele necessário para a integração de unidades geradoras eólicas e fotovoltaicas. Deste modo, há um evidente descompasso entre o crescimento da capacidade instalada de plantas eólicas e solares e a expansão das linhas de transmissão.

A metodologia e o desenho da expansão do sistema de transmissão requerem complexos estudos de planejamento, com base em premissas de crescimento da demanda e da geração e em avaliações de natureza socioambientais, seguidos por estudos para a definição das características técnicas das novas instalações. Esses estudos, conduzidos pela Empresa de Planejamento Energético (EPE), com a colaboração técnica do ONS e de empresas transmissoras, são consolidados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), configurando editais, que são colocados em consulta pública para a posterior realização de leilões de ativos de transmissão. Após o leilão, e cumpridas as etapas de qualificação do vencedor e homologação de resultados, ocorre a assinatura do contrato de concessão de 30 anos, o qual estabelece o prazo para a entrada em operação das novas instalações. Todo esse processo resulta em longos intervalos entre a identificação da necessidade de expandir o sistema de transmissão e a efetiva entrada em operação das linhas, tipicamente superando sete anos.

Por sua vez, a implantação de centrais eólicas e fotovoltaicas ocorre em prazos bem menores, podendo chegar a dois anos, dependendo do porte do projeto. A disparidade entre as

velocidades de implantação de ativos de geração e de transmissão tem se mostrado desafiadora em todos os locais do mundo em que a transição energética avança. No caso brasileiro, tendo em vista as características de distâncias envolvidas e distribuição espacial das fontes, o desafio de viabilizar a rede de transmissão no prazo requerido pela transição energética se torna particularmente importante.

Outro aspecto a destacar, que demanda a atenção de todos que atuam no segmento de transmissão, é o fato de que a adequação da Rede Básica aos requisitos derivados da transição energética ocorre simultaneamente com o tratamento de dois eventos de impacto crescente no sistema: a ampliação da quantidade de equipamentos em final de vida útil, consequência do natural envelhecimento da rede, e o encerramento do prazo de concessão de instalações que foram licitadas a partir de 1999.

O primeiro tema, que foi objeto de avaliação regulatória conduzida pela ANEEL, apresenta basicamente o desafio de se proceder as devidas substituições de equipamentos sem que haja comprometimento da segurança da operação do SIN. Por outro lado, o final dos prazos de concessão ainda requer um esforço para a construção do respectivo arcabouço regulatório, particularmente referente à regulamentação do Decreto nº 11.314/2022, prevista na Agenda Regulatória 2024/2025 da ANEEL. Sobre esse tema, destaca-se a sua relevância de uma definição regulatória consistente, dado que já está no horizonte o vencimento de nove concessões até 2030 e de mais 119 até 2040, representando milhares de quilômetros de linhas de transmissão. Diante dessa perspectiva, é importante que sejam equacionados aspectos como isonomia e transparência de informações, para que o assunto não se torne crítico.

Por fim, e já na fase de conclusão deste tema tão relevantes, a transição energética em curso constitui uma empreitada inédita na história da Idade Moderna por sua dimensão e potencial impacto transformador. Neste sentido, investimentos maciços têm sido realizados no desenvolvimento tecnológico e na construção da infraestrutura necessária, tanto do lado da produção (novas fontes, incluindo armazenamento) como do lado do consumo (transporte, aquecimento, indústria, etc.) para viabilizar essa transformação. O Brasil, mesmo contando com uma matriz elétrica essencialmente renovável, tem experimentado, na última década, um crescimento expressivo da integração de fontes que usam vento e irradiação solar para gerar energia elétrica.

Destaca-se que a análise aqui desenvolvida chama atenção para a importância do segmento de transmissão na viabilização do processo de transição energética, na condição de prestador de serviços essenciais para a segurança e economicidade do atendimento das necessidades de energia elétrica do consumidor brasileiro. É essencial aprofundar e tratar os novos requisitos e desafios para a prestação desses serviços, impostos pela expansão crescente dos recursos renováveis e das novas tecnologias derivadas, como os recursos energéticos distribuídos, tema que foi analisado no capítulo quatro desta série.

Por fim, a transição energética impõe que soluções inovadoras sejam adotadas no sistema de transmissão, de modo a preservar o seu papel viabilizador da disponibilidade, confiabilidade e eficiência do SEB, reforçando características como flexibilidade operativa e resiliência frente a perturbações no SIN. O conhecimento e a experiência acumulados ao longo do desenvolvimento do SEB permitem a conclusão de que os desafios impostos serão superados, possibilitando ao país explorar o diferencial competitivo de dispor de uma matriz elétrica limpa, diversificada e de baixo custo.

Referências Bibliográficas

Castro, Nivalde José de; Brandão, Roberto (2024). **A transição energética e a necessidade crescente de armazenamento de energia elétrica**. Artigo publicado na Revista Setor Elétrico. Abril de 2024, n. 202, pp. 10-14. Disponível em:

https://issuu.com/revistaosetoreletrico/docs/ose_202_finalsite?fr=xKAE9_zU1NQ&utm_campaign=hv_revista_ose_-_nova_edicao_202&utm_medium=email&utm_source=RD+Station. Acesso em: 16 de abril de 2024.

Castro, Nivalde José de; Leal, Luiza Masseno (2024). **Transição Energética e Mobilidade Elétrica**. Disponível em:

https://issuu.com/revistaosetoreletrico/docs/ose_201_finalsimples?fr=xKAE9_zU1NQ&utm_campaign=hv_revista_ose_-_nova_edicao_201&utm_medium=email&utm_source=RD+Station. Acesso em: 21 de março de 2024.

Castro, Nivalde; Gonçalves, Leonardo (2024). **Os Recursos Energéticos Distribuídos na Modernização do Setor Elétrico Brasileiro**. Artigo publicado na Revista O Setor Elétrico. Edição Maio-Junho de 2024, n. 203, pp. 12-18. Disponível em:

https://www.osetoreletrico.com.br/wpcontent/uploads/2024/05/OSE_203_Final_SITE-1.pdf.

Silveira, Maria Alzira Noli (2024). **O Valor da Rede**, material apresentado pelo ONS no *Energy Solutions Show*.