



ANE BRASIL
ACADEMIA
NACIONAL DE
ENGENHARIA

Desafios da Transição Energética

Comitê de Energia

Julho 2025



ANE BRASIL
ACADEMIA
NACIONAL DE
ENGENHARIA

Desafios da Transição Energética

Comitê de Energia

Comitê de Energia (CPE)

Coordenador: Nelson Martins

Grupo de Trabalho Desafios da Transição Energética

Coordenador: Djalma M. Falcão

Membros: Albert Melo, Alexandre Street, Altino Ventura, Antônio Carlos Barbosa, Antonio Capeleiro Pinto, Eduardo Serra, Graça Foster, Iony Patriota, Luiz Maurer, Maria Elvira Maceira, Nelson Martins, Paulo Gomes e Pietro Erber

Palestrantes Convidados: Fernanda Delgado, Farid Shecaira, Maurício Tolmasquim, Francisco Victor e Virgílio Paixão Jr

Julho 2025

O Acordo de Paris, de 2015, do qual o Brasil é signatário, previu uma série de medidas para evitar que o aumento da temperatura média mundial excedesse 1,5 grau Celsius até 2030 – limite que acaba de ser atingido. Assim, urge implementar projetos e procedimentos que contribuam para evitar o aumento ainda maior da mudança climática, dentre os quais se destacam aqueles destinados à redução do consumo de combustíveis fósseis. Esta exige que seu uso seja mais eficiente e sua substituição por energias de fontes renováveis, o que se denomina Transição Energética (TE).

A TE constitui a contribuição do setor energético para reduzir a concentração de gás carbônico, metano e outros gases causadores de efeito estufa (GEE), portanto responsáveis pelo aquecimento global. Complementa as demais ações de contenção dessas emissões, entre as quais predominam, no país, aquelas ocasionadas pelo uso do solo, sobretudo para o desmatamento, e as atividades agropastoris. A TE requer redução do consumo de combustíveis de origem fóssil e a retirada da atmosfera de parte dos GEE já presentes. O custo dessa iniciativa mundial, da qual todos podem e devem participar, se justifica frente àquele da inação cujas externalidades já não mais podem ser ignoradas.

O Brasil está comprometido com a TE tanto pela sua natureza emergencial quanto pelas oportunidades que oferece. Em vista de sua matriz energética, metade constituída por oferta de energias de fontes renováveis, a situação do país é singularmente mais favorável do que a da maioria dos demais. Tais fontes são predominantes na geração de energia elétrica e, nos transportes e na indústria, contribuem para reduzir a pegada de carbono dessas atividades. Dado que a maioria das fontes renováveis podem ser afetadas por alterações do clima, já perceptíveis, o Brasil precisa atuar com prioridade e protagonismo na implementação da TE, com o objetivo de evitá-las.

Os governos de diversos países se movimentam para moldar o futuro de tecnologias de energia limpa e combinar suas políticas climáticas, de segurança energética e econômicas com o intuito de aumentar a resiliência e a diversidade das cadeias de abastecimento e, ao mesmo tempo, competem pelas oportunidades econômicas, a exemplo dos EUA, da União Europeia, do Japão, da Índia e da própria China. É indispensável que o Brasil integre esse esforço, tendo em conta seus recursos e oportunidades específicos, para minimizar sua dependência externa na área e evitar atrasos que prejudiquem sua competitividade no mercado internacional.

Nessa perspectiva, a Academia Nacional de Engenharia criou o Grupo de Trabalho (GT) denominado Desafios da Transição Energética. Ao longo de vários meses, o GT estudou os benefícios e dificuldades da implantação de uma política de TE no país com o objetivo de fornecer à sociedade brasileira uma visão da matéria do ponto de vista da engenharia. O resultado do trabalho se encontra em documento extenso disponível no site da

Academia Nacional de Engenharia em [Desafios da Transição Energética](#). Este *position paper* apresenta as principais conclusões e recomendações sugeridas pelo GT.

O documento completo contém os seguintes capítulos:

- *Introdução* – define o tema TE e os principais objetivos do trabalho;
- *Contextualização* – apresenta uma visão geral da TE, seu impacto em vários setores da economia e aponta caminhos promissores para o país;
- *Combustíveis, Transportes, Indústria, Mercado e Captura de Carbono* – aprofunda a questão da substituição dos combustíveis fósseis por combustíveis alternativos, ou outras formas de energia, nas aplicações em transportes e na indústria, e analisa as perspectivas do país com relação ao mercado e captura de carbono;
- *Sistema Eletroenergético* – investiga os requisitos e efeitos da TE no sistema eletroenergético nacional, sob o enfoque de qualidade, confiabilidade e modicidade tarifária; discute seus possíveis impactos ambientais, positivos e negativos, e aponta distorções estruturais do setor elétrico e na política industrial e tecnológica resultantes de permanentes e elevados subsídios;
- *Desafios Ambientais, Socioeconômicos e Regulatórios* – analisa os impactos ambientais e socioeconômicos das novas tecnologias associadas à TE, como a geração eólica e fotovoltaica, os novos combustíveis, a produção de hidrogênio etc., assim como as mudanças regulatórias ora em curso e aquelas que ainda precisam ser implementadas para viabilizar a TE;
- *Conclusões* – apresenta uma síntese dos principais desafios e sugestões de encaminhamentos vislumbrados para a implementação do processo de TE no país.

Baseado em extenso trabalho de pesquisa, seguido por longas discussões no GT, foram identificadas as seguintes questões e oportunidades para a TE no Brasil, bem como um esboço de possíveis encaminhamentos de contribuições apresentadas a seguir:

1. A necessidade urgente de coordenação das atividades governamentais e da sociedade civil, visando à harmoniosa e eficiente TE do país. Nesse sentido, o governo federal deverá implementar a Política Nacional de Transição Energética (PNTE), em articulação com outras iniciativas, a exemplo do Plano Clima e a Nova Indústria Brasil.
2. A substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis, energia nuclear ou combustíveis sintéticos carece de redução dos seus custos de produção e de ampliação de suas ofertas. Subsídios deveriam ser evitados, e quando indispensáveis, limitados a segmentos específicos do mercado, como populações de baixa renda e custeados por créditos de carbono e recursos orçamentários.

3. No caso dos transportes em âmbito internacional, notadamente o aéreo e o marítimo, a utilização de combustíveis alternativos que demandam adaptação dos equipamentos exige a garantia de oferta mundial, o que extrapola o processo decisório do país.
4. A eletrificação dos transportes, especialmente o rodoviário, exige a implantação de ampla infraestrutura de recarga no território nacional.
5. A descarbonização na indústria (aço, cimento, alimentos etc.) requer investimentos de vulto na infraestrutura de produção e na redução de custos dos combustíveis alternativos ou da energia elétrica, mediante políticas de apoio à adaptação das indústrias e de eficiência dos fornecedores dos energéticos.
6. O incipiente mercado de carbono brasileiro ainda apresenta baixa demanda e liquidez, embora apresente grande potencial diante da ampla disponibilidade de fontes renováveis e experiência na captura e sequestro de carbono (CCS). Esse mercado se viabilizará quando seu custo for inferior ao valor dos créditos de carbono. Uma legislação mais clara e a diminuição da complexidade regulatória ajudarão a deslançar esse mercado.
7. As novas infraestruturas de transporte e armazenamento constituirão um elemento crítico para a produção de eletricidade e hidrogênio com baixas emissões e para a gestão de CO₂, devendo-se investigar as possibilidades de reaproveitamento de infraestruturas existentes de combustíveis fósseis.
8. Há necessidade de se definir os montantes e equipamentos complementares adequados para a expansão de geração eólica e solar, a fim de preservar a confiabilidade e a operação ótima do sistema interligado, tal como a rentabilidade dos investimentos realizados, considerando as previsões de demanda de energia.
9. Os fatores de confiabilidade assumem maior importância dadas as incertezas da geração intermitente. É necessário lidar com os novos desafios de segurança e controle na operação elétrica de maneira a estabilidade do sistema em condições de baixa inércia, o que requer novas tecnologias tanto em hardware quanto em software.
10. Há necessidade de políticas que valorizem os sistemas elétricos e os induzam a maior flexibilidade – desde o planejamento da expansão do Sistema Interligado Nacional até sua operação.
11. Deve-se reconhecer o papel das tecnologias renováveis já comprovadas, como as usinas hidrelétricas – com reservatórios de regularização e as reversíveis – na integração e balanceamento de níveis crescentes de energia eólica e solar, e remunerar os serviços que venham a prestar, além da geração de energia elétrica. Em razão do aquecimento global, o planeta vem se tornando cada vez mais seco e sujeito a graves crises climáticas. Vale salientar, portanto, a função

dos reservatórios de regularização de rios e bacias hidrográficas pelo seu relevante papel no armazenamento de água doce, em modo sazonal e plurianual, para o abastecimento, irrigação, dessedentação de animais, contenção de cheias, entre outros.

12. Como também deve ser justa, inclusiva, acessível e sustentável, cabe à TE contemplar as populações que ainda não têm acesso à energia elétrica e demais modalidades de energia, de modo a atender às suas necessidades básicas, não se excluindo aí a concessão de subsídios para essa finalidade.
13. As mudanças climáticas em curso – aumento da temperatura, alterações nos regimes de precipitações, ventos e irradiações, e eventos climáticos extremos mais frequentes e intensos – já impactam o setor elétrico, no que se refere a sua produção e consumo de energia, e com danos à sua infraestrutura. Tudo isso exige estratégias de mitigação e adaptação, com foco em sistemas mais resilientes às mudanças do clima, incluindo seu financiamento.
14. A TE tem provocado e demandará transformações tecnológicas aceleradas em toda a economia, via descarbonização, descentralização e digitalização da rede, o que impõe atualização dos marcos regulatórios vigentes.
15. É necessário considerar impactos devidos às fontes renováveis numa perspectiva de seus ciclos de vida. Entre eles, os causados por grandes reservatórios, poluição visual e sonora de geradores eólicos, energia e produtos químicos utilizados na produção de placas solares, o impacto de grandes plantações para obtenção de biocombustíveis, o consumo de água para obtenção de hidrogênio por eletrólise, além do futuro descomissionamento das instalações e descarte de seus componentes. Outra questão relevante diz respeito à extensa área destinada ao cultivo da cana-de-açúcar, o que pode ocasionar conflitos com a produção de alimentos.
16. É fundamental que o país crie políticas públicas para a descarbonização da economia por meio de desenvolvimentos tecnológicos na indústria de energia e, ao mesmo tempo, condições para competir pelas oportunidades econômicas oferecidas pela transição para energias limpas e renováveis em diferentes mercados ao redor do mundo.
17. O sucesso da TE depende da implementação de um quadro regulatório capaz de integrar os diversos setores envolvidos. Há uma série de propostas tramitando no Congresso Nacional, direta e indiretamente relacionadas à TE. Muitas envolvem resoluções totalmente contrárias à TE. Outras, mesmo propondo soluções aparentemente favoráveis, podem produzir resultados diferentes do esperado se não forem compatibilizadas com outras propostas em tramitação.
18. O Brasil conta com forte participação de fontes renováveis (cerca de 50%) em sua matriz energética e ainda maior (perto de 90%) para sua geração de energia elétrica. Desse modo, o que se mostra uma vantagem no presente

também representa um risco diante da mudança de clima que poderá alterar a disponibilidade dessas fontes. Conclui-se, então: interessa particularmente ao país que o esforço mundial para manutenção das condições climáticas seja bem-sucedido.

A implantação da TE no país é uma atitude positiva por incluir o Brasil no esforço mundial de redução do aquecimento global, atendendo a seus compromissos internacionais. Além disso, apresenta rara oportunidade de situar o Brasil em nova rota de desenvolvimento embasada em processo de neo-industrialização, voltado para a exportação de produtos verdes, ou seja, aqueles produzidos sem ou com baixa emissão de GEEs.