



Transição Energética:

Uma visão comparativa das principais
tecnologias para o Brasil

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA:

Uma visão comparativa das principais tecnologias para o Brasil

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), serão necessários investimentos anuais de **US\$ 4 trilhões até 2030** para viabilizar a transformação dos **sistemas energéticos** e alcançar a meta de emissões líquidas zero **até 2050**.

Este documento tem como objetivo explorar os principais vetores que impulsionam a transição energética no Brasil, apresentando uma análise comparativa das tecnologias mais relevantes no cenário nacional e identificando oportunidades para um futuro mais sustentável e eficiente.

Para apoiar os tomadores de decisão, o estudo incorpora uma matriz de maturidade tecnológica, que facilita a compreensão do estágio de desenvolvimento e das potencialidades de cada solução energética.

Elaborado pela ABEMI (Associação Brasileira de Engenharia Industrial), por meio do seu Comitê de Transição Energética, este material busca disseminar conhecimento e fomentar a adoção de práticas sustentáveis e inovações tecnológicas no setor. Ao compartilhar essa visão estratégica com a sociedade e seus associados, a ABEMI reafirma seu compromisso com o avanço da engenharia e com o desenvolvimento energético do país.

A transição energética é um dos pilares fundamentais para enfrentar os desafios globais das mudanças climáticas e construir um futuro sustentável. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), serão necessários investimentos anuais de US\$ 4 trilhões até 2030 para viabilizar a transformação dos sistemas energéticos e alcançar a meta de emissões líquidas zero até 2050.

O Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) reforça esse cenário, destacando que a adoção de fontes de energia limpa pode reduzir em mais de

50% as emissões globais de CO₂ até o fim desta década. Além dos benefícios ambientais, a transição energética também impulsiona o desenvolvimento econômico: segundo a Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA), o setor de energias renováveis pode gerar mais de 38 milhões de novos empregos no mundo até 2030.

No Brasil, essa transformação se apoia em uma matriz energética que já se destaca globalmente pela alta participação de fontes renováveis, representando cerca de 46% da oferta interna de energia, conforme dados do Ministério de Minas e Energia (MME). **Para fortalecer esse posicionamento, o Plano Nacional de Energia (PNE 2050) projeta investimentos superiores a R\$ 300 bilhões anuais**, voltados para a expansão das energias renováveis, a modernização da infraestrutura elétrica e o desenvolvimento de novas tecnologias.

Além disso, o Brasil possui um enorme potencial para se consolidar como um dos principais exportadores de hidrogênio verde do mundo, impulsionado pela abundância de recursos renováveis, como aponta o Relatório Anual da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Esse cenário reforça a posição estratégica do país na transição energética global e abre novas oportunidades para o desenvolvimento sustentável.

Benefícios econômicos

Os impactos da transição energética no Brasil são promissores. **Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), essa transformação pode gerar mais de 2 milhões de empregos diretos e indiretos no país até 2050**, impulsionando a economia e a inovação no setor produtivo. Além dos benefícios econômicos, a redução das emissões e a melhora na qualidade do ar contribuirão diretamente para a saúde da população, além de fortalecer a competitividade da indústria brasileira em um cenário global cada vez mais focado em sustentabilidade.

o setor de
energias
renováveis pode
gerar mais de

**38 milhões
de novos
empregos**

no mundo até
2030.



Matriz comparativa – Tecnologias de Produção de Energia

Tecnologia	Maturidade Tecnológica	Economicidade	Impacto Ambiental	Disponibilidade de Infraestrutura Geral	Potencial de Escalabilidade
Energia Solar	5	5	5	5	5
Energia Eólica	5	5	4	5	5
“Gás Natural (incluindo GNL)”	5	4	5	2	5
Hidrogênio Renovável	5	1	5	1	5
Captura de Carbono	2	1	5	1	1
Energia Nuclear (Padrão)	5	4	5	5	5
“Energia Nuclear (SMR) Até 300MW”	4	4	5	5	5
Biorefinaria (SAF e HVO)	5	3	5	5	1
Etanol	5	5	5	5	4
Etanol de 2ª Geração	4	3	5	5	4
Biogás	5	5	5	3	5
C2M (conversão de usinas de carvão para nuclear)	4	4	5	5	3
Bateria (armazenamento de Energia em escala)	3	2	3	5	5
UHE (reversíveis)	5	5	5	5	4



Aceitação Regulatória	Viabilidade para Transição Energética	Disponibilidade de Recursos no Brasil	Disponibilidade de Offtaker	Impacto Econômico Local	Aceitação Cultural e Social
5	5	5	5	2	5
4	5	4	5	2	4
5	4	5	5	5	5
2	5	5	1	2	5
2	5	5	1	2	5
5	5	5	5	5	3
5	5	5	5	3	3
5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	4	5
5	5	5	5	4	5
5	5	5	5	3	5
5	5	4	5	3	3
2	5	3	3	2	3
5	5	5	5	3	5

Energias Renováveis Tradicionais

A energia solar e a energia eólica ocupam posições de destaque entre as tecnologias mais maduras e escaláveis da matriz energética brasileira. A energia solar, amplamente difundida por meio da geração distribuída, combina alta viabilidade econômica com benefícios ambientais significativos, sendo impulsionada por políticas regulatórias como a Lei nº 14.300/2022.



Já a energia eólica segue em forte expansão, com grande presença em regiões de ventos constantes, como o Nordeste brasileiro, consolidando-se como uma fonte estratégica para a diversificação energética. Embora ambas as tecnologias enfrentem desafios relacionados à intermitência, sua complementaridade reforça o papel essencial que desempenham na descarbonização do setor energético.

Gás Natural como Combustível de Transição

O gás natural se destaca como uma solução estratégica no curto e médio prazo para a transição energética.

Com uma infraestrutura já consolidada e alta flexibilidade operacional, ele representa uma alternativa viável para substituir combustíveis fósseis mais poluentes, como carvão e óleo combustível. Além disso, seu papel é fundamental na integração de fontes renováveis intermitentes, garantindo maior estabilidade e segurança ao sistema energético.



Tecnologias de Alta Densidade Energética

A energia nuclear, especialmente com o avanço dos reatores modulares pequenos (SMR), surge como uma solução indispensável para atender demandas energéticas em larga escala. Sua capacidade de fornecer energia limpa e contínua, aliada à possibilidade de conversão de usinas a carvão em instalações nucleares (C2M), reforça sua relevância estratégica no Brasil e no mundo.

Embora enfrente desafios como a aceitação pública e os altos custos iniciais, a energia nuclear desempenha um papel essencial na transição energética, garantindo segurança, estabilidade e baixa emissão de carbono no suprimento global de eletricidade.



Biocombustíveis e Biogás

O Brasil mantém sua posição de liderança global em biocombustíveis, com destaque para o etanol e o biodiesel. Além disso, o biogás, produzido a partir de aterros sanitários e usinas de processamento de cana-de-açúcar, vem se consolidando como uma solução descentralizada para a geração de eletricidade e calor.

Esses recursos desempenham um papel fundamental na diversificação da matriz energética e no fortalecimento das economias locais, especialmente em regiões rurais, impulsionando o desenvolvimento sustentável e a independência energética.



Tecnologias Emergentes e Sustentáveis

Outras tecnologias, como Hidrogênio verde; Combustível Sustentável de Aviação (SAF); Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono (CCUS), ainda estão em fases iniciais de desenvolvimento ou enfrentam barreiras econômicas e de infraestrutura. Apesar disso, representam soluções promissoras para descarbonizar setores difíceis, como transporte pesado e indústrias químicas, reforçando o papel do Brasil como exportador de energia limpa.



Conclusão

A análise apresentada neste white paper reforça o papel estratégico do gás natural, dos biocombustíveis e da energia nuclear como pilares fundamentais da transição energética no Brasil.

O **gás natural** se destaca como o combustível de transição mais viável, devido à sua ampla disponibilidade e flexibilidade operacional. Além de substituir combustíveis fósseis mais poluentes, como o carvão, ele proporciona a estabilidade necessária para a integração de fontes renováveis intermitentes, como solar e eólica. No curto e médio prazo, sua contribuição será essencial para impulsionar a transformação do setor energético.

Os **biocombustíveis**, como etanol, biodiesel e biogás, reafirmam a liderança global do Brasil no setor de bioenergia, agora impulsionada pela Lei nº 14.993/2024 (Lei do Combustível do Futuro). Essa legislação fortalece a descarbonização do transporte e o desenvolvimento econômico, ampliando o uso de biocombustíveis na matriz energética. O etanol de segunda geração (E2G) expande o aproveitamento da biomassa, enquanto o biogás, proveniente de resíduos agrícolas e industriais, impulsiona a geração descentralizada de energia e reduz impactos ambientais.

A **energia nuclear**, por sua vez, emerge como uma solução indispensável para atender às crescentes demandas energéticas com baixas emissões de carbono. O desenvolvimento de reatores modulares pequenos (SMR) e a conversão de usinas a carvão em instalações nucleares (C2M) evidenciam o potencial dessa tecnologia para fornecer energia limpa, segura e consistente. Apesar dos desafios relacionados à aceitação social e aos altos custos iniciais, a energia nuclear apresenta uma densidade energética incomparável e é essencial para garantir a segurança energética a longo prazo.

Este white paper busca contribuir para o debate sobre a transição energética no Brasil, oferecendo uma visão comparativa das principais tecnologias e destacando suas potencialidades. A matriz de maturidade tecnológica apresentada fornece uma base estratégica para que tomadores de decisão, associações e a sociedade compreendam os desafios e oportunidades desse processo, promovendo ações concretas para um futuro energético mais sustentável.





Anexo I: Descrição das Características da Matriz

- 1 Maturidade Tecnológica:** Indica o nível de desenvolvimento e prontidão da tecnologia para implementação em larga escala.
- 2 Economicidade:** Avalia a relação custo-benefício, considerando os custos de implementação, operação e manutenção.
- 3 Impacto Ambiental:** Mede os efeitos positivos ou negativos no meio ambiente, como emissões de gases de efeito estufa e uso de recursos naturais.
- 4 Disponibilidade de Infraestrutura Geral:** Refere-se à existência de infraestrutura necessária para suportar a tecnologia.
- 5 Potencial de Escalabilidade:** Indica a capacidade de a tecnologia ser ampliada para atender a demandas crescentes.
- 6 Aceitação Regulatória:** Avalia o alinhamento com regulamentações locais, nacionais e internacionais.
- 7 Viabilidade para Transição Energética:** Refere-se ao papel da tecnologia na substituição de fontes fósseis e na descarbonização.
- 8 Disponibilidade de Recursos no Brasil:** Considera a abundância e o acesso aos recursos necessários no contexto brasileiro.
- 9 Disponibilidade de Offtaker:** Avalia a presença de consumidores ou contratos que garantam o uso ou compra da energia gerada.
- 10 Impacto Econômico Local:** Mede os benefícios econômicos para a região, como geração de empregos e desenvolvimento econômico.
- 11 Aceitação Cultural e Social:** Refere-se à aceitação pública e comunitária da tecnologia.

Anexo II: Tecnologias Avaliadas na Matriz

- 1 Energia Solar (Fotovoltaica e Concentrada)
- 2 Energia Eólica (Onshore e Offshore)
- 3 Gás Natural (incluindo GNL)
- 4 Hidrogênio Verde
- 5 Biocombustíveis (Etanol, Biodiesel e E2G - Etanol de Segunda Geração)
- 6 Biogás (de Aterro e de Usinas de Processamento de Cana-de-Açúcar)
- 7 Captura e Armazenamento de Carbono (CCUS)
- 8 Energia Nuclear (Padrão - Grande Porte e SMR - Small Modular Reactor)
- 9 UHE Reversíveis (Usinas Hidrelétricas de Energia Reversível)
- 10 SAF (Sustainable Aviation Fuel)
- 11 C2M (Conversão de Usinas de Carvão para Energia Nuclear)



Comitê de Transição Energética

Presidente da ABEMI

Joaquim Maia

Coordenador do Comitê de Transição Energética

Osvaldo Bernardo

Membros do Comitê:

Alvaro Promenzio

Antonio Muller

Francisco Camerino

Nelson Romano

Thomaz Americano





abemi
Associação Brasileira de Engenharia Industrial