Eletrificação, Digitalização da Economia e Hidrogênio:

Como os vetores da transição energética impulsionarão a demanda por energia elétrica e a matriz energética? Quais os desafios da descarbonização?

Carla da Costa Lopes Achão

Diretoria de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais – DEA

Superintendência de Estudos Econômicos e Energéticos - SEE

Rio de Janeiro

Seminário Nacional de Telecomunicações, RJ, 21/10/2026

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Sobre a EPE e o seu valor público

Empresa pública federal vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME)

Desenvolvemos **estudos e estatísticas energéticas** para (i) reduzir a assimetria de informação no mercado e para (ii) **subsidiar o planejamento energético nacional** e a formulação, implementação e monitoramento de **políticas públicas** pelo MME

O Plano Nacional de Energia



O **Plano Nacional de Energia (PNE)** é um dos principais instrumentos de planejamento de longo prazo do setor energético brasileiro. Desde a sua criação, o PNE consolidou-se como referência para a definição de diretrizes estratégicas voltadas ao desenvolvimento do sistema energético nacional. O **PNE 2030**, publicado em 2007, foi o primeiro marco dessa trajetória, seguido pelo **PNE 2050**, lançado em 2020, que ampliou o horizonte de análise e reforçou o compromisso com a transição energética. Agora, o **PNE 2055** dá continuidade a esse processo, incorporando uma abordagem inovadora baseada em cenários prospectivos, em um modelo energético integrado e em uma governança institucional fortalecida.

Linha do tempo do Plano Nacional de Energia

2007

PNE 2030



2020

PNE 2050



2025/2026

PNE 2055



O caminho para a construção do PNE 2055 passa por três grandes etapas, com inovações metodológicas importantes em relação aos ciclos anteriores

Conforme detalhamento apresentado no Caderno de Cenários Energéticos do PNE 2055, o desenvolvimento de cenários prospectivos de longo prazo para o setor energético representa uma base tecnicamente sólida para a **construção estratégica e o planejamento sob incerteza.**

E, **para os exercícios quantitativos do estudo**, **pela primeira vez foi utilizado um modelo integrado de planejamento energético** que usa otimização por minimização de custo total, de forma a garantir a consistência global dos cenários elaborados.

Etapas de construção do PNE 2055

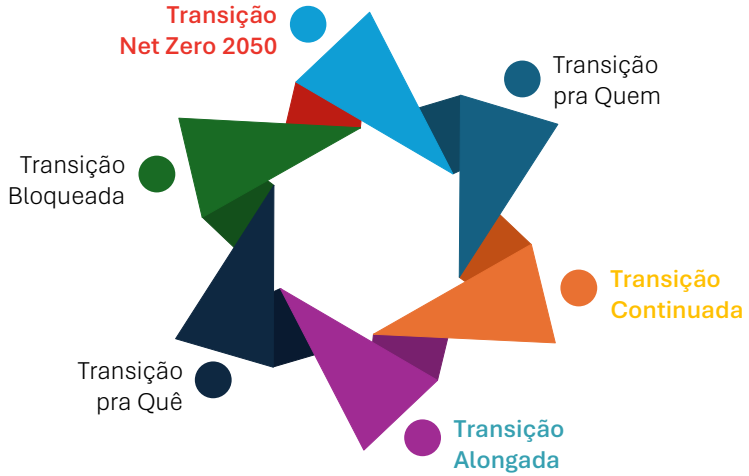


[1] Baseado no modelo MATRIZ/CEPEL.
[2] Utiliza dados de modelos especialistas de demanda de energia.

Os cenários energéticos de longo prazo do PNE 2055

A geração da lógica dos cenários energéticos a partir de técnicas de priorização de incertezas resultou na **criação de seis futuros possíveis para o sistema energético brasileiro**[4].

Três cenários foram escolhidos para serem avaliados na etapa de exercícios quantitativos, por meio de modelagem integrada, representando um conjunto relevante de futuros possíveis[5] para a construção da estratégia de longo prazo do setor energético.



Exercícios quantitativos para três futuros possíveis do setor energético



TRANSIÇÃO NET ZERO 2050 (TNZ)

- 3,8% a.a. de crescimento do PIB e **forte redução da desigualdade**.
- **Transformação estrutural da economia**, com maior crescimento da indústria nacional.
- Governança forte, regulação eficaz e financiamento amplo e diversificado.
- Alcance do ***net zero* em 2050** no setor energético.



TRANSIÇÃO ALONGADA (TA)

- 3,2% a.a. de crescimento do PIB e **expansão do consumo** das famílias.
- Economia ainda apoiada em um **modelo primário exportador**.
- Avanços na governança e na integração de políticas, regulação eficaz; financiamento instável.
- Brasil avança na transição energética mas não alcança o *net zero* até 2050.



TRANSIÇÃO CONTINUADA (TC)

- 2,5% a.a. de crescimento do PIB e **redução marginal** da desigualdade.
- Manutenção do **modelo primário exportador**.
- Governança bem estruturada; menores avanços na regulação e financiamento insuficiente.
- **Manutenção do ritmo histórico de transição energética do país** (sem meta estipulada de *net zero*).

[4] O cenário Transição Alongada foi desenvolvido posteriormente aos demais cenários, com o objetivo de representar um futuro possível diante das mudanças mais recentes observadas na conjuntura internacional.
[5] Em consonância com a abordagem de futuros possíveis adotada no PNE 2055, não há um cenário de *business as usual* entre os cenários analisados. Nesse contexto, a trajetória indicativa do PDE pode ser compreendida como inserida no espectro de futuros explorados pelo PNE 2055. Adicionalmente, o combate à pobreza energética constitui uma prioridade da política energética nacional, refletida na seleção dos cenários quantificados, que permitem explorar diferentes trajetórias de avanço conforme os distintos contextos considerados.

A diversidade de recursos energéticos se mostra como uma vantagem estratégica para o Brasil



O Brasil tem **recursos energéticos suficientes** para suprir as suas necessidades de longo prazo em todos os cenários energéticos do PNE 2055.

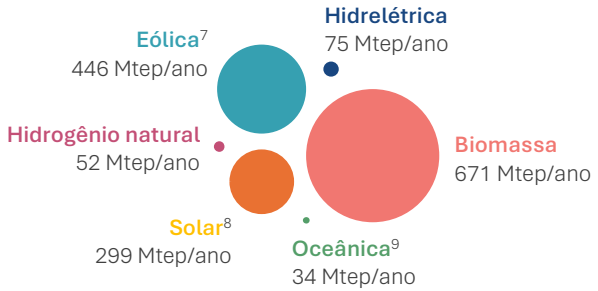
- É importante avançar em estudos relacionados aos **impactos das mudanças do clima** na disponibilidade desses recursos.



+ frequência e duração seca | + temperatura | + ondas de calor | + chuvas extremas e persistentes | Mudança no padrão dos ventos | + temperatura do mar

- Refletindo sua natureza recorrente e sustentável, o **potencial renovável** de 1,6 bilhão de tep ao ano reflete a energia renovável anualmente disponível no país, **aproximadamente cinco vezes superior ao consumo anual do País em 2024**.

Potencial energético renovável brasileiro anual para expansão[6] (Mtep por ano)



- O Brasil também possui recursos não renováveis que, apesar de finitos e exauríveis, são abundantes, com **potencial técnico não renovável** de 20,6 bilhões de tep, **cerca de 70 vezes superior ao consumo energético anual do País**.

Potencial energético não renovável total brasileiro para expansão (Mtep)



[6] Embora o potencial técnico anual das fontes renováveis seja inferior ao volume total dos estoques fósseis, trata-se de um fluxo contínuo de energia, disponível de forma indefinida ao longo do tempo. O valor apresentado representa a quantidade passível de aproveitamento em um único ano, refletindo a natureza recorrente e sustentável dessas fontes. Já os recursos não renováveis, mesmo abundantes, são finitos e exauríveis.
[7] Potencial eólico considera aplicações *onshore* e *offshore*.
[8] Potencial solar considera aplicações fotovoltaicas distribuídas e centralizadas (*onshore* e *offshore*), assim como a tecnologia heliotérmica.
[9] Potencial oceânico considera o aproveitamento por ondas e marés, porém, não considera variações por conta de diferenças de temperatura.

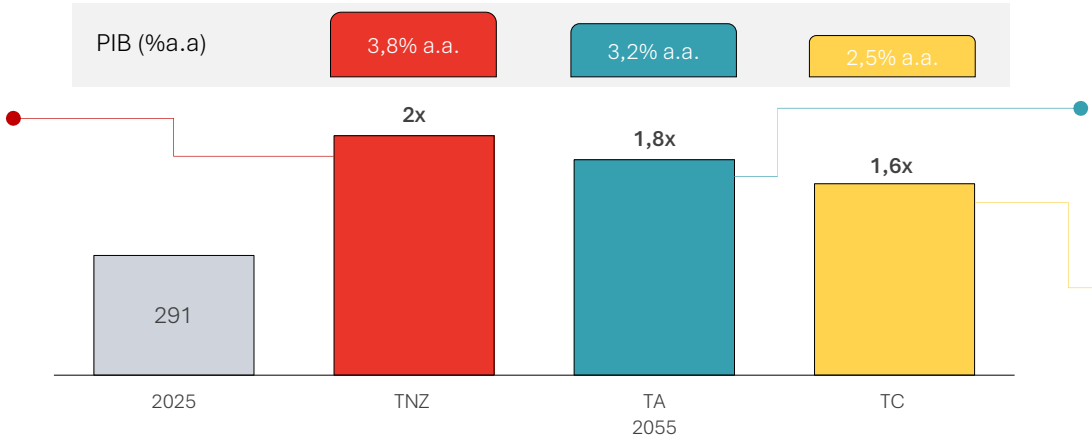
O consumo de energia tende a se multiplicar com o bom desempenho econômico do País ...

Nos cenários quantificados, a economia brasileira cresce, em média, entre 2,5% a.a. e 3,8% a.a. até 2055. O maior dinamismo econômico é impulsionado por uma mudança estrutural da economia, com ampliação da participação de setores de maior valor agregado e pelo aproveitamento das vantagens comparativas do Brasil na transição energética, favorecendo o desenvolvimento de cadeias produtivas estratégicas no País.

- Nesse contexto, a indústria apresenta expansão mais intensa, impulsionada pela política de neoindustrialização, cujos efeitos se refletem em toda a economia. A transição energética também se consolida como vetor para a transformação socioeconômica, contribuindo para a redução das desigualdades e para o aumento do consumo das famílias.
- Diante desse desempenho econômico, o País registra um **aumento substancial da demanda de energia, que pode alcançar, em 2055, valores entre 1,6 e 2,0 vezes superiores aos atuais.**
- Em todos os cenários, o crescimento da demanda de energia impõe desafios à expansão da oferta e à manutenção da segurança energética no País.

Expansão da demanda de energia em relação a 2025 (milhões de tep)

- Maior crescimento econômico.
- Crescimento expressivo da indústria: 4,4% a.a.
- Eletrificação massiva e altas taxas de eficiência.



- Crescimento econômico relevante.
- Economia ainda apoiada no modelo primário-exportador.
- Expansão do consumo das famílias.

- Menor crescimento econômico.
- Sem mudanças estruturais na economia.
- Menores taxas de eletrificação e eficiência energética.

epe 20+

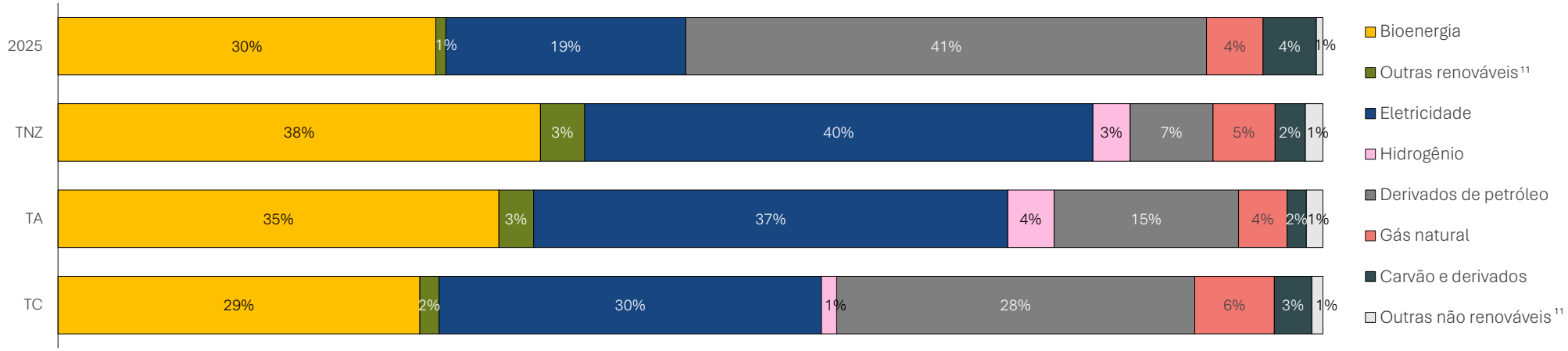
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

... com destaque para o aumento da eletrificação e a ampliação do uso de bioenergia

O mix de fontes utilizado para atender à demanda final de energia em 2055 pode variar significativamente entre os cenários, sendo a eletrificação e a bioenergia elementos centrais para a descarbonização da demanda energética.

- De modo geral, quanto maior a penetração da eletricidade, menor tende a ser a participação dos combustíveis fósseis ao final do horizonte. Independentemente do cenário, **a eletricidade ganha relevância em 2055, com consumo variando entre 2,6 e 4,2 vezes o nível atual**.
- Nos cenários de maior descarbonização, **a ampliação da participação da bioenergia[10], do gás natural, do biometano e até mesmo do hidrogênio** – em especial de baixa emissão de carbono – **contribui significativamente para a redução gradual do consumo de combustíveis fósseis**.
- Nesse contexto, a participação dos derivados de petróleo no consumo final de energia pode diminuir gradualmente, passando de um patamar próximo a 40% para menos de 10%.

Participação das fontes no consumo final em 2055 (% do total)[11]



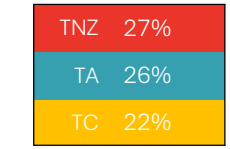
[10] Bioenergia inclui biomassa, biometano e biocombustíveis líquidos.
[11] Os percentuais de participação podem não somar 100% em função de arredondamento. Outras renováveis incluem solar térmica, biogás e biomassa. Outras não renováveis incluem gás natural úmido e outras primárias não renováveis.

Ganhos de eficiência energética serão fundamentais para o atendimento à demanda

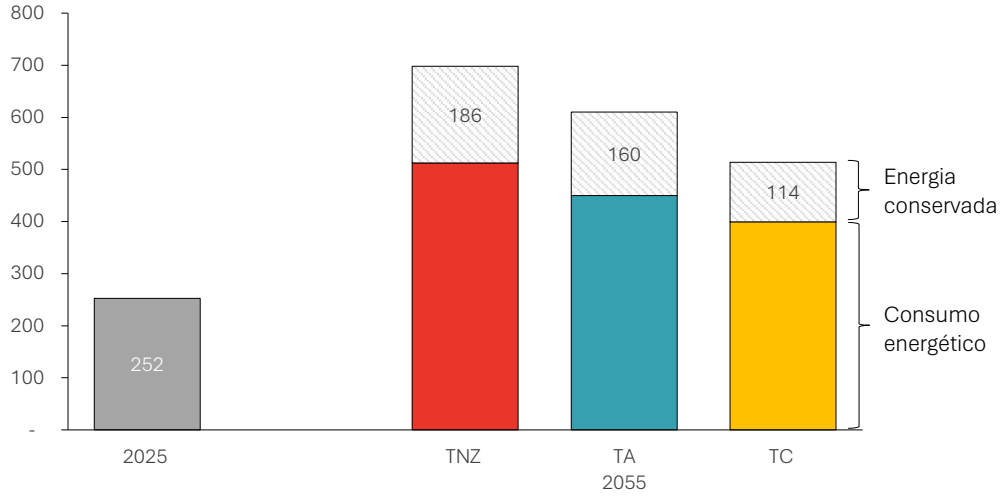
A eficiência energética pode evitar mais de 25% do consumo final energético até 2055. Isso representa uma economia de quase 200 milhões de tep, valor próximo ao consumo atual dos setores de transportes e industrial somados.

- **Na indústria,** as medidas de eficiência energética podem ser implementadas por meio de diversas ações, que vão desde **a aquisição e modernização de equipamentos até a eletrificação e a ampliação do uso do gás natural**. Nesse contexto, a eficiência energética se consolida como **importante vetor de descarbonização na indústria**, em complementaridade a outras medidas, como o aumento do uso da biomassa.
- **Nos transportes**, a **crescente eletrificação** constitui fator relevante para o aumento da eficiência energética. Os ganhos podem ser ainda maiores quando considerados os efeitos sistêmicos associados à **ampliação do transporte público e à mudança da matriz logística nacional.**
- Em cenários mais orientados à descarbonização, **as edificações de baixo consumo energético e baixas emissões são impulsionadas por políticas públicas e marcos regulatórios alinhados às metas de *net zero***, bem como por um planejamento urbano voltado a cidades mais eficientes e inclusivas.
- **No setor residencial, o combate à pobreza energética também exerce papel fundamental como vetor de eficiência energética**, por meio da substituição de fontes tradicionais de cocção de alimentos, como lenha e carvão vegetal, por fontes modernas, como GLP e eletricidade.

Estimativa da eficiência para os setores residencial, transportes e indústria[12]



Consumo energético total e ganhos de eficiência energética (milhões de tep)



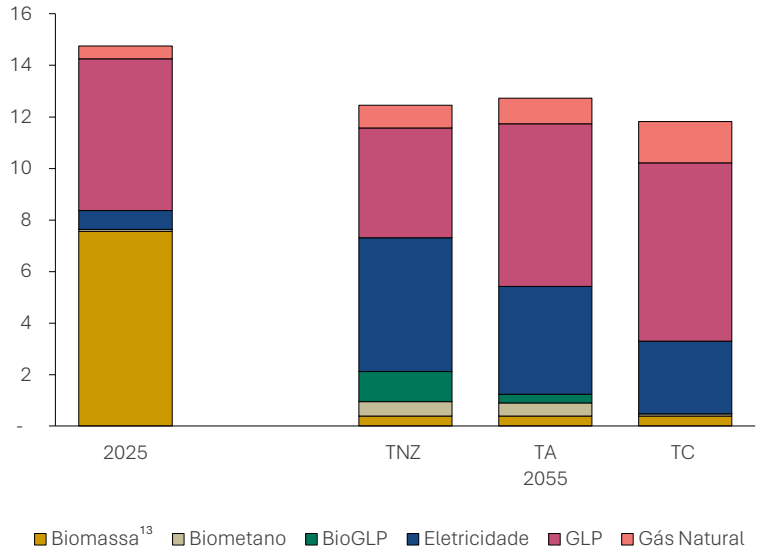
[12] Eficiência média dos setores residencial, transportes e indústria. A economia de energia é calculada com os mesmos percentuais aplicados a todo consumo final energético.

O combate à pobreza energética é um importante vetor de eficiência ...

Em todos os cenários, o combate à pobreza energética é tratado como prioridade da política energética, viabilizando o acesso universal a fontes modernas de energia, ainda que as trajetórias de avanço variem conforme os diferentes níveis de descarbonização da matriz residencial. A redução das desigualdades energéticas é fundamental para a erradicação da pobreza energética e para a promoção da eficiência energética.

- Nesse contexto, o processo de erradicação da pobreza energética está diretamente associado à ampliação do **acesso a serviços energéticos modernos, baseados em combustíveis e tecnologias limpos, seguros, eficientes e de qualidade**, contribuindo para a melhoria das condições sociais, de saúde e de bem-estar da população, especialmente da parcela em maior vulnerabilidade socioeconômica.
- O crescimento econômico e o aumento da renda das famílias permitem maior acesso aos serviços energéticos nos domicílios, **desbloqueando uma demanda residencial historicamente reprimida**. Nesse contexto, o consumo anual per capita de energia no setor residencial pode quase dobrar no cenário mais ambicioso, passando de **1,46 tep/habitante**, em 2025, para até **2,6 tep/habitante**, em 2055.
- Em relação aos ganhos de eficiência, os efeitos são particularmente relevantes quando associados à eletrificação do cozimento de alimentos, uma vez que a eletricidade apresenta eficiência superior à de combustíveis como GLP, gás natural e, sobretudo, lenha e carvão vegetal. Em todos os cenários, **a participação da biomassa converge para cerca de 3%, patamar residual associado principalmente a fatores culturais**.
- Nos cenários mais ambiciosos, observa-se **crescimento expressivo da participação da eletricidade,** que pode atingir 42% do consumo de energia destinado ao cozimento de alimentos, refletindo-se em ganhos significativos de eficiência energética e descarbonização do setor.
- Já nos cenários de descarbonização mais lenta, o **GLP** tende a assumir maior protagonismo na substituição da lenha, podendo alcançar participação de até 59% no consumo destinado a esse uso final, consolidando-se como principal fonte para cocção de alimentos e importante vetor de promoção de justiça e segurança energética.

Consumo energético no cozimento de alimentos (milhões tep)



[13] Biomassa inclui lenha e carvão vegetal.

... ao mesmo tempo em que promove inclusão social e equidade energética

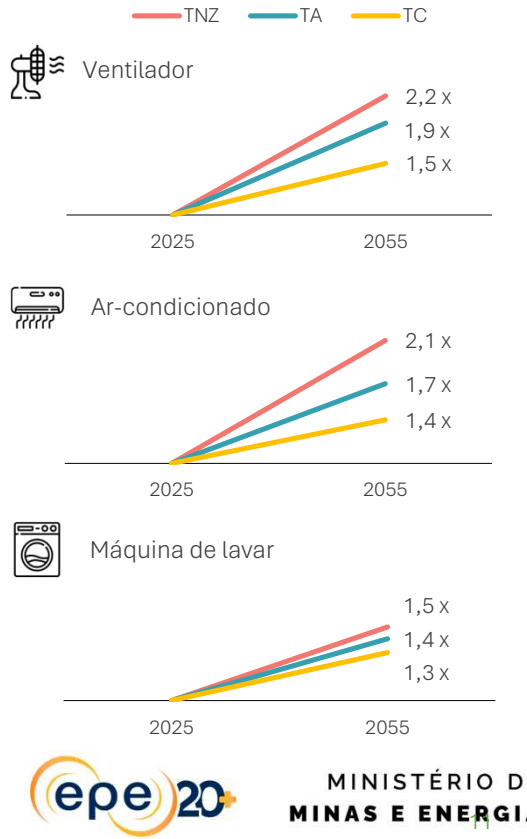
Outro vetor essencial no enfrentamento da pobreza energética é a ampliação do acesso a equipamentos eletrodomésticos pelas diferentes camadas sociais do País. Nos cenários mais ambiciosos, algumas categorias podem registrar até o dobro de equipamentos por domicílio.

- Nesses cenários, o maior crescimento econômico torna os equipamentos de climatização, como **condicionadores de ar e ventiladores, cada vez mais relevantes no setor residencial, podendo dobrar o número de aparelhos por domicílio.** Uma parcela maior da população passa a ter acesso aos serviços energéticos proporcionados por esses equipamentos, atendendo a uma demanda anteriormente reprimida, especialmente entre os domicílios de menor renda.
- O maior acesso a equipamentos de climatização, associado a políticas de promoção da eficiência energética e do desempenho das edificações, **contribui para ampliar a adaptação dos domicílios às mudanças climáticas e proporcionar maior conforto térmico à população.**
- **As máquinas de lavar roupa**, cuja posse ainda é notadamente desigual entre regiões e classes sociais do País, **ganham espaço como item cada vez mais relevante nas residências em todos os cenários**, com crescimento de até 50% no número de aparelhos. Já equipamentos de entretenimento e comunicação, como televisores e computadores, apresentam expansão diretamente relacionada à evolução das condições sociais e econômicas.

O consumo residencial de energia elétrica aumenta significativamente, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população brasileira.

- O processo de eletrificação faz com que o consumo de eletricidade cresça em ritmo ainda mais acelerado do que o consumo total de energia. O **consumo mensal per capita de eletricidade pode quase triplicar**, passando, no cenário mais ambicioso, de 67,5 kWh/habitante, em 2025, para até 183 kWh/habitante, em 2055.
- De forma complementar, os avanços na universalização do acesso e os esforços voltados à promoção da **eficiência energética de equipamentos e eletrodomésticos contribuem para mitigar os impactos do aumento da demanda** no setor residencial, reduzindo os momentos de pico do sistema e a necessidade de expansão de oferta. Além disso, essas medidas melhoram a qualidade de vida da população e **aliviam o peso dos gastos com energia no orçamento das famílias.**

Evolução da posse de equipamentos por domicílio



epe 20+

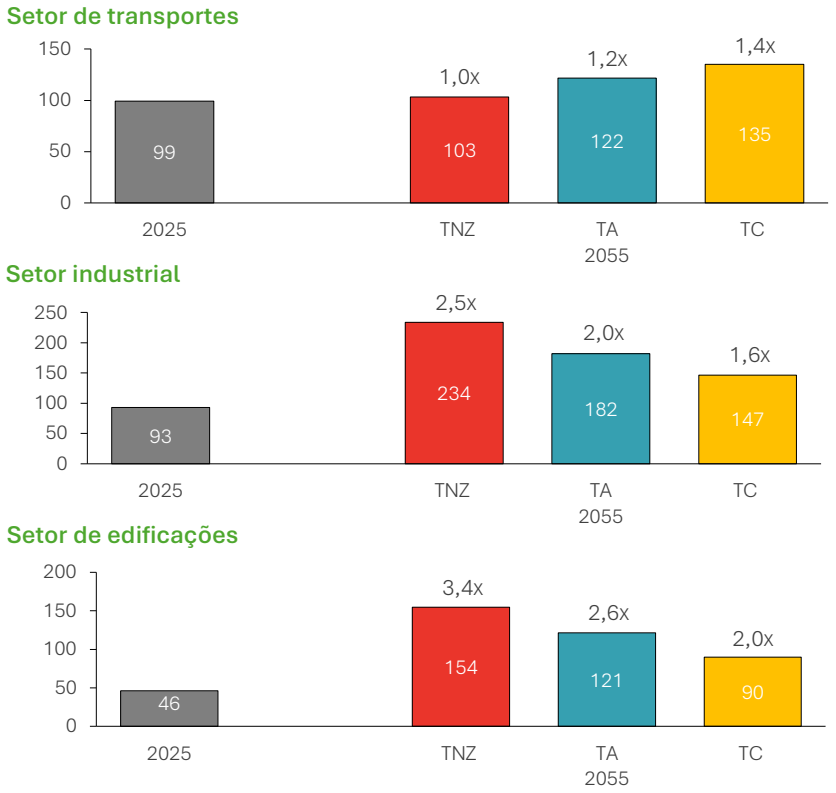
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Mesmo com significativos ganhos de eficiência, o consumo dos setores de transportes, industrial e de edificações cresce

A eficiência energética e a substituição de fontes energéticas desempenham papel fundamental na evolução do consumo energético nacional. Nos cenários mais ambiciosos, os ganhos de eficiência no setor de transportes permitem conciliar forte desenvolvimento econômico com significativa descarbonização do setor.

- A indústria pode assumir protagonismo ainda maior, impulsionada pelo avanço das políticas de neoindustrialização e pelo adensamento das cadeias nacionais, resultando em forte elevação do consumo energético do setor.
- Nas edificações, que incluem os setores residencial, comercial e público, observa-se aumento significativo da participação no consumo nacional de energia. A entrada de grandes cargas como *data centers*, associada à tendência de eletrificação e à expansão do consumo das famílias, especialmente nos cenários mais ambiciosos, contribui para o crescimento da demanda.
- No setor de transportes, a eficiência energética pode ser decisiva, sobretudo por meio da substituição modal, com maior participação do transporte coletivo e da eletrificação.
- Em todos os setores, os esforços de promoção da eficiência energética são fundamentais para conciliar desenvolvimento econômico e avanços sociais com um crescimento proporcionalmente menos intenso da demanda de energia.

Demanda de energia de setores selecionados (milhões de tep)

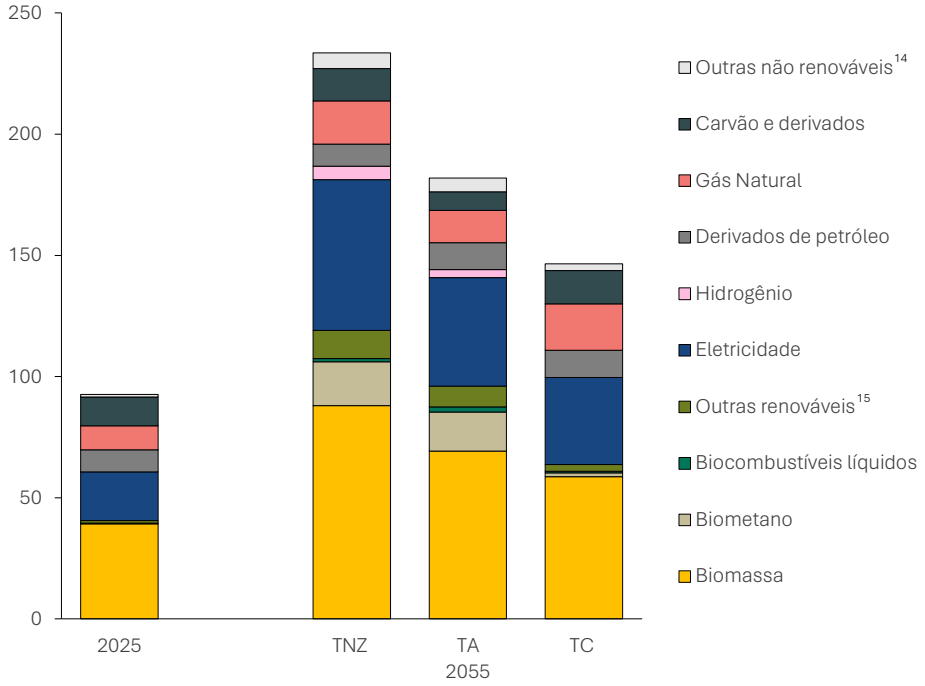


Na indústria, a eletrificação, a biomassa e as tecnologias de captura e armazenamento de carbono se destacam como opções de descarbonização

A descarbonização da indústria conta com um amplo portfólio de opções para mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Destacam-se a manutenção da elevada participação de biomassa e o avanço da eletrificação em um contexto de crescimento de demanda, podendo, juntas, representar até cerca de 70% do consumo energético industrial em 2055.

- O **gás natural e o biometano também podem contribuir para a redução de emissões** ao substituir fontes mais intensivas em carbono, como o coque de carvão mineral. Nesse contexto, **o consumo combinado dessas fontes no setor industrial pode alcançar volume até 3,6 vezes superior ao registrado em 2025.**
- O **hidrogênio também pode compor o conjunto de soluções voltadas à redução de emissões no longo prazo**.
- O setor apresenta **ganhos de eficiência energética** no curto e médio prazo, contribuindo para o aumento da produtividade industrial, além da redução do consumo de energia e das emissões associadas.
- Para além das emissões relacionadas ao uso de energia, a indústria também possui emissões intrínsecas aos seus processos. Dessa forma, mesmo com a redução da participação de fontes fósseis, ainda permanecem emissões que não são abatidas. Nesse contexto, **a captura de carbono desponta como tecnologia fundamental para o alcance das metas climáticas no longo prazo.**

Demanda de energia do setor industrial por fonte (milhões de tep)



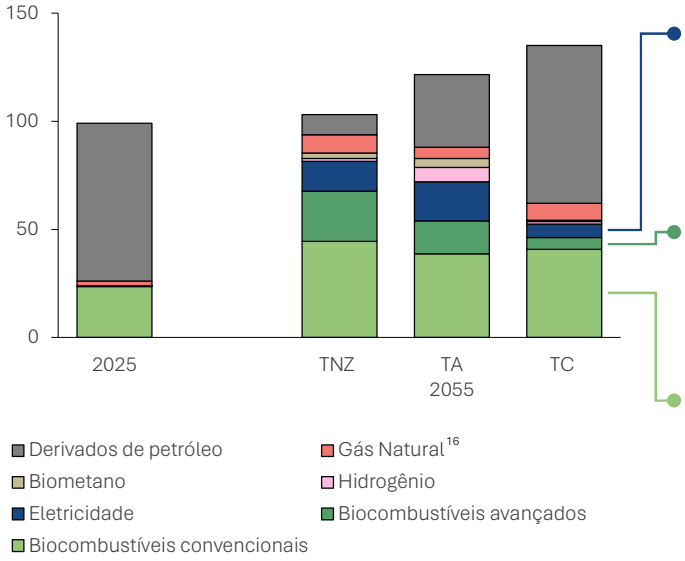
[14] Outras não renováveis incluem gás de coqueria e resíduos não renováveis.
[15] Outras renováveis incluem solar térmica, hidráulica e resíduos renováveis.

No setor de transportes, os biocombustíveis, a eletrificação e os ganhos de eficiência são as forças motrizes para a descarbonização

A renovabilidade da matriz de transportes avança de forma consistente em todos os cenários, podendo alcançar até 85% em 2055.

- A combinação de biocombustíveis convencionais (como etanol e biodiesel), biocombustíveis avançados (como diesel verde e SAF), eletricidade e hidrogênio tem potencial para substituir parcela expressiva dos combustíveis fósseis no setor de transportes.

Demanda de energia do setor de transportes por fonte (milhões de tep)



Eletricidade, proveniente de uma matriz elétrica de baixa emissão, ganha escala e pode atingir até 15% da demanda do setor em 2055, com destaque para veículos leves e transporte urbano.

Biocombustíveis avançados assumem papel relevante em segmentos de difícil descarbonização, podendo responder por até 23% da demanda em 2055.

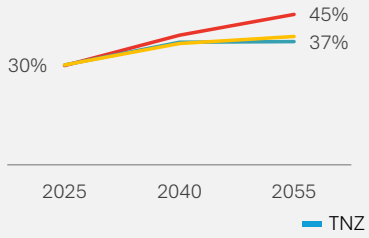
Biocombustíveis convencionais ampliam sua importância estratégica em todos os cenários, passando de 24% em 2025 para até 43% em 2055.

[16] Gás Natural inclui Gás Natural Liquefeito (GNL).

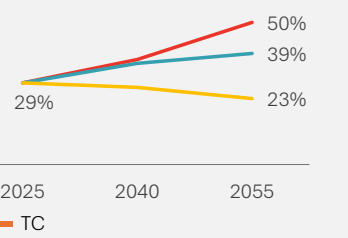
Os ganhos de eficiência também desempenham papel relevante no atendimento da demanda, complementando a descarbonização do setor por meio da redução da intensidade energética e de mudanças estruturais no sistema de transportes.

- No transporte de cargas, **a substituição de modos energointensivos por alternativas mais eficientes e integradas** permite que os modos ferroviário e aquaviário alcancem até 45% da atividade, impulsionados por investimentos em infraestrutura logística.
- No transporte de passageiros, os avanços decorrem da **migração do transporte individual para o transporte coletivo** – ônibus, metrô, trens e barcas, cuja participação pode alcançar até 50% da atividade total.
- Nesse contexto, a eletrificação se mostra particularmente importante devido à sua elevada eficiência energética.

Participação dos modos ferroviário e aquaviário na atividade do transporte de cargas (% total)



Participação do transporte coletivo na atividade do transporte de passageiros (% total)



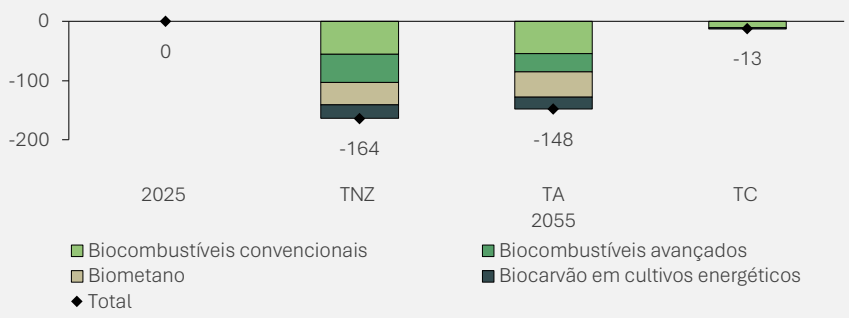
TNZ TA TC

O avanço da bioenergia possibilita a redução de emissões pela substituição gradual de combustíveis fósseis, mas também pela remoção de emissões da atmosfera

A produção de biocombustíveis pode aumentar cerca de cinco vezes ao longo dos próximos 30 anos.

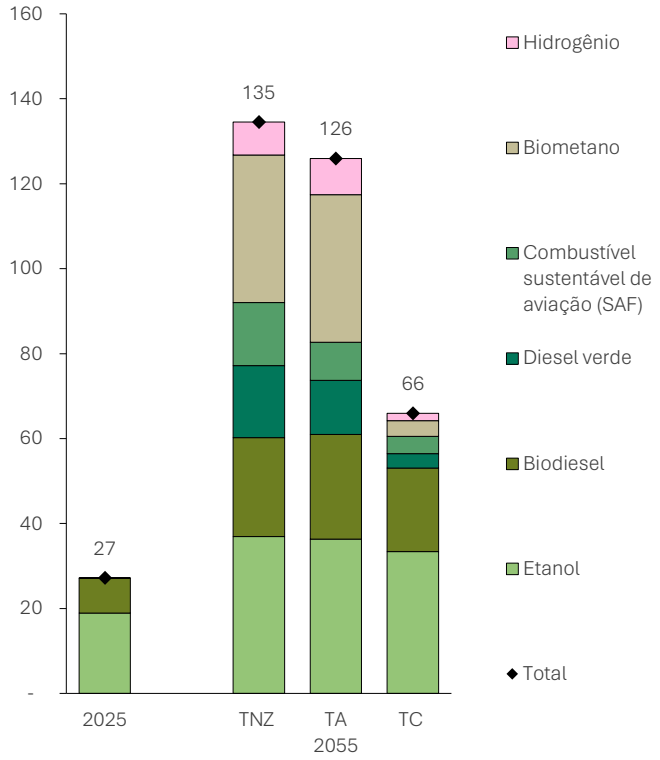
- **A bioenergia desempenha papel estratégico ao garantir diversidade e segurança energética** à matriz nacional. Em 2055, os biocombustíveis podem representar entre 33% e 44% da oferta interna de energia.
- Nesse contexto, **etanol, biodiesel e biometano ampliam sua participação** em diferentes setores da economia, inclusive naqueles de difícil abatimento de emissões. Soma-se a isso a crescente relevância de novos combustíveis de baixo carbono, como **SAF e diesel verde**.
- A produção de bioenergia com captura e armazenamento geológico de carbono (**BECCS**), bem como o **acúmulo de carbono no solo agrícola por meio de melhores práticas de manejo e da aplicação de biocarvão, além de outras Soluções Baseadas na Natureza (SBN)**, contribuem para a descarbonização dos combustíveis e complementam a substituição de fósseis ao **possibilitar a expansão energética associada a emissões negativas**. Essas soluções se consolidam como instrumentos relevantes para compensar emissões residuais em setores de difícil abatimento.

Remoção de emissões na produção de biocombustíveis ($MtCO_2eq$)



- BECCS na produção de biocombustíveis líquidos (convencionais e avançados) pode remover mais de 100 $MtCO_2eq$.
- BECCS na produção de biometano pode remover até 43 $MtCO_2eq$.
- Biocarvão em cultivos energéticos tem o potencial de remover 23 $MtCO_2eq$.

Produção de biocombustíveis (milhões de tep)

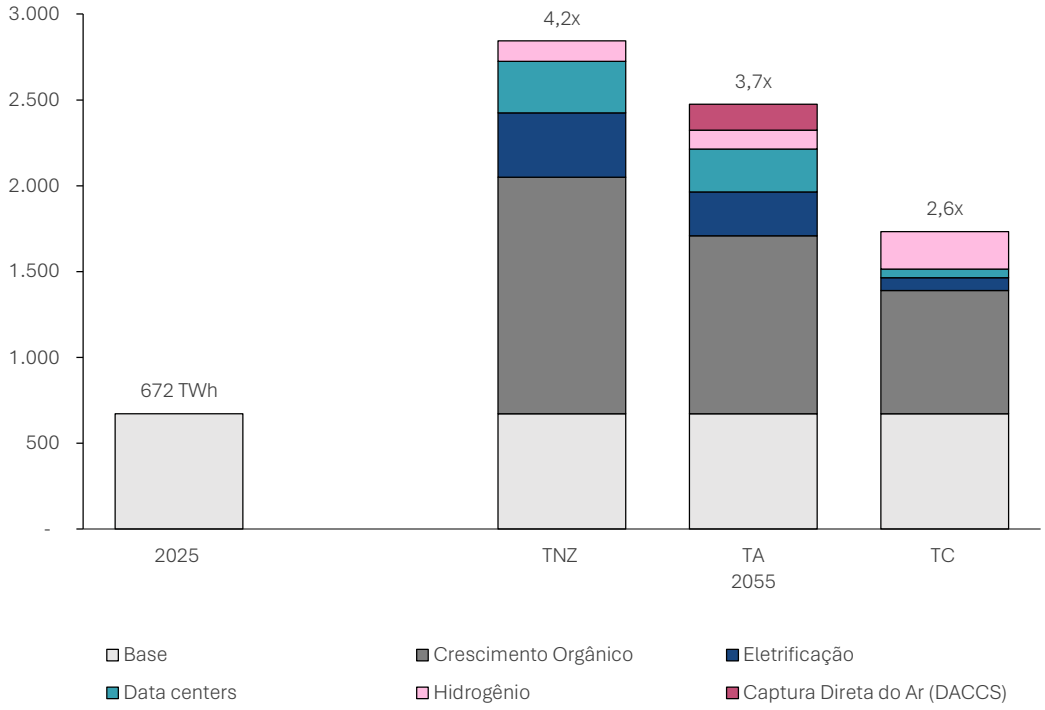


Além do crescimento orgânico, os vetores da transição energética serão determinantes da demanda elétrica no longo prazo

Até 2055, a carga de energia elétrica pode crescer mais de quatro vezes, impulsionada não apenas pelo crescimento orgânico da demanda, mas também pelos vetores associados à transição energética.

- A **eletrificação** nos setores residencial, de transportes e industrial reforça o movimento global de descarbonização, podendo representar **mais da metade dos atuais 672 TWh** de consumo. Por outro lado, esse processo exige um sistema elétrico mais robusto e preparado para acomodar novas cargas e padrões de consumo.
- A **digitalização da economia** emerge como vetor essencial de desenvolvimento, podendo levar o **consumo de eletricidade em *data centers* a até 300 TWh**. No entanto, é o avanço nas camadas de maior valor agregado que permitirá ao Brasil transformar sua infraestrutura digital em efetivo vetor de competitividade e inovação.
- A **produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono**, quando realizada por eletrólise, pode gerar impactos relevantes sobre a demanda de eletricidade do País, **podendo alcançar 220 TWh em 2055**. O Brasil dispõe de potencial para o aproveitamento e a integração de diversas rotas tecnológicas de produção de hidrogênio, ampliando as oportunidades de desenvolvimento desse mercado. A criação de hubs permite a coordenação regional e temporal necessária à estruturação de um mercado de hidrogênio, com mitigação das restrições de acesso à infraestrutura.
- A depender da trajetória de transição energética, tecnologias de **remoção de carbono da atmosfera** podem se tornar necessárias, com potencial de consumir até **150 TWh** em 2055.

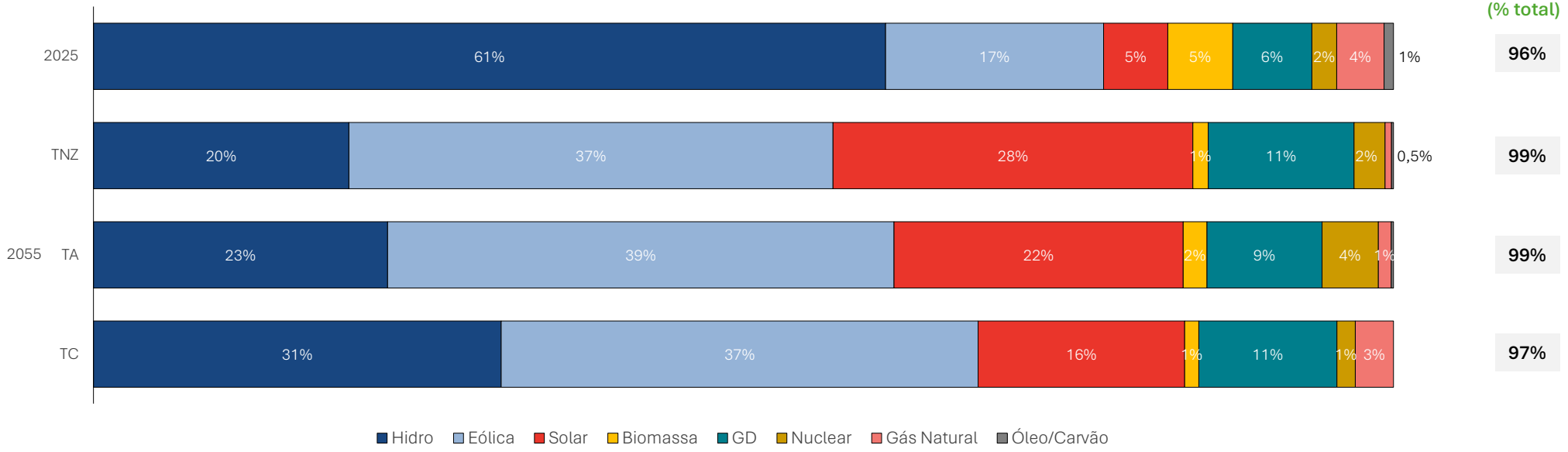
Composição da carga de energia elétrica em 2055 (TWh)



Todos os cenários apontam que a matriz elétrica brasileira terá alta participação de energias limpas

Em 2025, a geração de energia elétrica é de aproximadamente 726 TWh[20]. Até 2055, o volume anual gerado pode alcançar patamares entre duas e quatro vezes superiores aos registrados em 2025. A participação de energias limpas na geração de energia elétrica pode variar entre 97% e 99% em 2055[21], ante 96% em 2025.

Participação das fontes na geração total de energia elétrica[22] (% total)



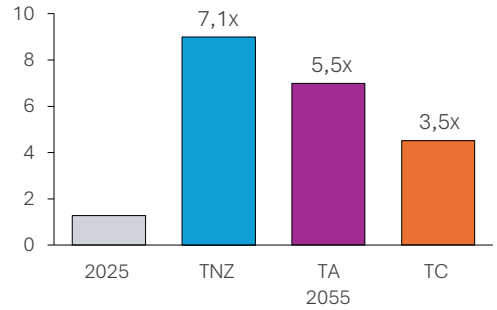
[20] A geração centralizada atende tanto ao consumo advindo da rede quanto às perdas totais (técnicas e não técnicas).
[21] A geração anual de energia elétrica proveniente de energia limpa supera 97% em todos os cenários avaliados (inclui nuclear).
[22] Os valores no gráfico não consideram autoprodução e sistemas isolados. Os percentuais de participação podem não somar 100% em função de arredondamento.

A transição energética brasileira ampliará de forma expressiva a demanda por minerais críticos, abrindo oportunidades para o adensamento de cadeias no País

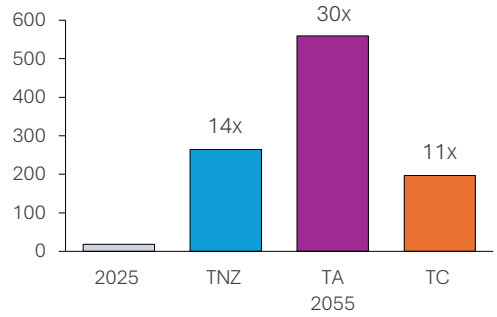
A transição energética avança principalmente por meio da eletrificação, tornando-se intensiva no uso de minerais estratégicos. A expansão de fontes renováveis na geração elétrica, como solar e eólica, é mais intensiva em uso de minerais quando comparada às tecnologias convencionais. Da mesma forma, a eletromobilidade depende fortemente de baterias intensivas em lítio, grafite e outros minerais. Esse processo também envolve a ampla difusão de motores elétricos, cuja eficiência depende do uso de ímãs permanentes à base de terras raras. Esse movimento reforça a centralidade das cadeias minerais para a viabilização da transição energética, incluindo as etapas de transformação mineral e fabricação de componentes industriais.

- As **cadeias globais de minerais estratégicos –** essenciais para a geração elétrica, baterias e motores elétricos – apresentam **elevada vulnerabilidade de suprimento em razão da forte concentração geográfica e industrial** ao longo de suas etapas produtivas. Essa configuração amplia riscos relacionados à disponibilidade, aos custos, ao ritmo de difusão tecnológica e à resiliência do sistema energético nacional.
- Nesse contexto, o Brasil apresenta **oportunidades estratégicas** decorrentes de sua elevada **diversidade geológica** e da presença de **reservas** relevantes de minerais, como **grafita** e **terras raras** – ainda com cadeia produtiva incipiente, além do **urânio**, cuja cadeia já se encontra estruturada no País. O avanço das atividades de **transformação mineral em território nacional** pode ampliar a captura de valor em segmentos associados a motores elétricos, baterias e equipamentos de geração renovável, fortalecendo a indústria nacional e ampliando sua inserção nas cadeias globais de valor.
- Na **matriz elétrica**, por exemplo, o aumento da demanda por minerais estratégicos é impulsionado principalmente pela expansão da **energia solar e eólica**. Destacam-se o **silício**, utilizado em painéis fotovoltaicos, e o **zinco e as terras raras**, empregados em aerogeradores, especialmente nos cenários de maior participação de fontes renováveis. O **cobre** também assume papel transversal, sendo amplamente utilizado em diversas tecnologias de geração e em sistemas elétricos auxiliares. Além disso, a expansão física da rede eleva a demanda por **aço** e **alumínio**, utilizados principalmente em torres e cabos de transmissão.
- Na **mobilidade elétrica,** a **eletrificação da frota** constitui o principal vetor de crescimento da demanda por minerais estratégicos, especialmente nos cenários de maior difusão de veículos elétricos e de elevada intensidade material das baterias. **Esse movimento é reforçado pela expansão do uso de motores elétricos de alto desempenho, cuja produção depende de capacidades industriais de transformação mineral atualmente concentradas no exterior.**

Minerais estratégicos na geração de energia elétrica (milhões de toneladas)



Minerais estratégicos em baterias para eletromobilidade (mil toneladas)



A oferta interna de energia pode dobrar para acompanhar o avanço econômico, sendo atendida por uma matriz ainda mais renovável e com menor intensidade energética

A renovabilidade da oferta interna de energia pode alcançar até 81% em 2055.

- Nos cenários quantificados, **os derivados de petróleo reduzem sua participação relativa na matriz energética**, principalmente em função das transformações observadas no setor de transportes. Já o gás natural mantém papel relevante na matriz, com aplicações em diversos setores da economia.
- Os cenários também apontam para uma **expansão expressiva da participação das fontes eólica e solar na geração elétrica, bem como da biomassa** na produção de biocombustíveis e no consumo industrial.

Participação das fontes na oferta interna de energia (% total)

		Biomassa	Hidráulica	Eólica	Solar	Petróleo	Gás natural	Carvão	Urânio	% Renováveis
	2025	34%	11%	3%	2%	36%	8%	4%	1%	51%
2055	TNZ	44%	7%	14%	16%	5%	8%	3%	3%	81%
	TA	41%	8%	13%	11%	12%	8%	2%	5%	73%
	TC	33%	9%	11%	9%	25%	9%	3%	1%	61%

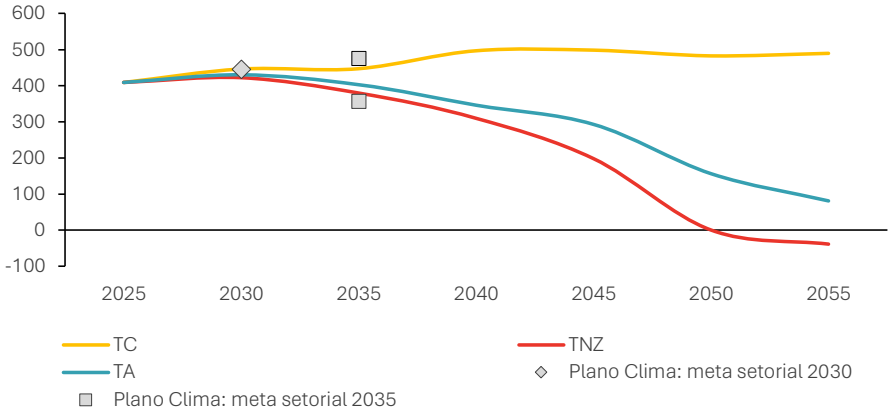
Nota: Os percentuais de participação podem não somar 100% em função de arredondamento.

Setor de energia com significativo potencial de contribuição para o atingimento de metas climáticas nacionais

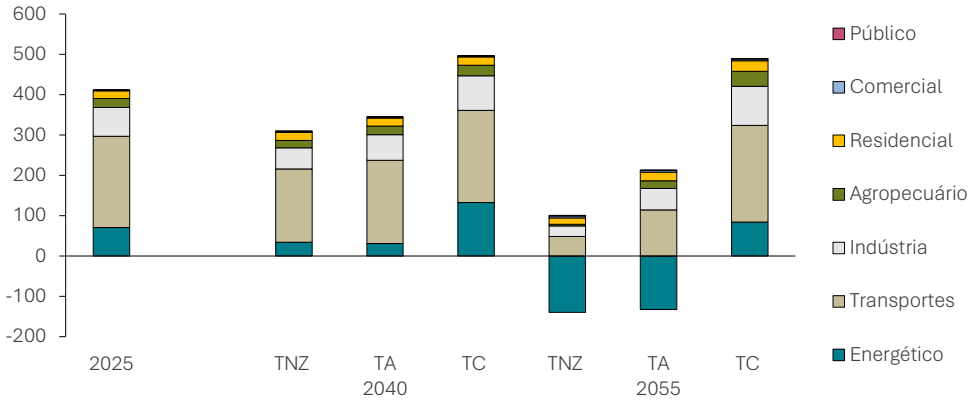
O setor de energia pode apresentar diferentes níveis de esforço para contribuir para o alcance das metas da NDC brasileira, em especial a de emissões líquidas zero de gases de efeito estufa (GEE) para a economia como um todo até 2050.

- As **políticas atualmente vigentes são relevantes para manter o protagonismo do setor na mitigação das emissões associadas tanto à produção quanto ao uso de energia.** Entretanto, o alcance da meta climática nacional de longo prazo[29] demanda incentivos adicionais à bioenergia e investimentos na cadeia de inovação, voltados à implementação de tecnologias-chave para a descarbonização.
- **O potencial de redução de emissões no uso final da energia é expressivo**, especialmente no setor de transportes. Essa redução decorre não apenas da substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis (convencionais e avançados), eletricidade e hidrogênio, mas também dos ganhos de eficiência energética ao longo do sistema.

Emissões líquidas e metas de emissões de GEE[30] do setor de energia (milhões de toneladas de CO_2 equivalente)



Emissões líquidas de GEE da combustão de energia por setor (milhões de toneladas de CO_2 equivalente)



[29] Com a plena implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) – não incorporada neste estudo – são esperadas alterações nos custos relativos entre tecnologias e rotas energéticas, incentivando as menos emissoras, bem como receitas governamentais que podem ser alocadas para acelerar a transição energética.

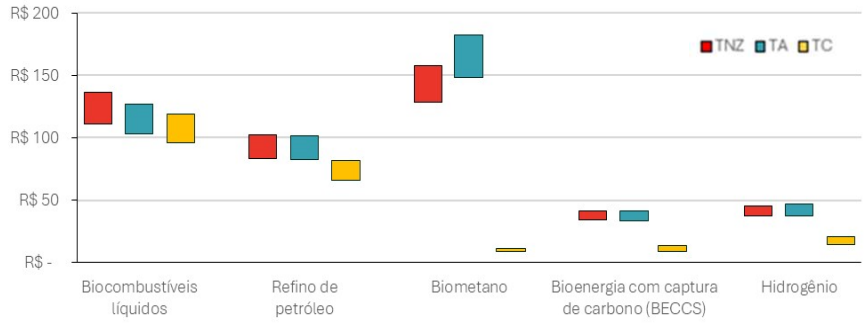
[30] Metas setoriais do Plano Clima para o escopo ampliado do Plano Setorial Energia, incluindo metas de emissões associadas ao uso de energia nos setores de Transportes, Indústria, Cidades e Agricultura e Pecuária.

A transição energética pode se consolidar como um vetor de diversificação econômica para o País

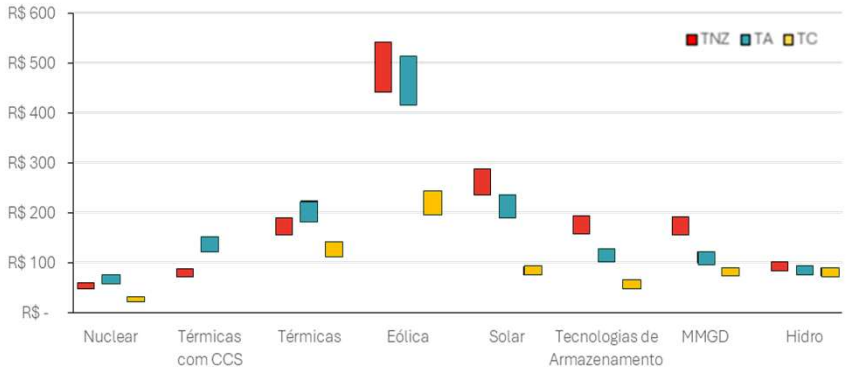
O investimento é fundamental para o desenvolvimento econômico, pois, além de ampliar a capacidade produtiva da economia, contribui para a geração de empregos e o estímulo à inovação.

- **A bioenergia se destaca como parte relevante das soluções de descarbonização no contexto de transição energética brasileira**, mobilizando investimentos que podem alcançar aproximadamente **R$ 300 bilhões**[32] **até 2055**. Uma cadeia de bioenergia consolidada também pode contribuir para a redução dos custos de tecnologias de captura e armazenamento de carbono no País, especialmente em rotas associadas a biocombustíveis convencionais, biocombustíveis avançados[33] e biometano. Nesse contexto, **os investimentos em BECCS**[34] **podem alcançar cerca de R$ 40 bilhões no longo prazo**.
- **Os investimentos destinados à expansão da matriz elétrica assumem dimensão ainda mais expressiva**, variando conforme o crescimento da carga e o nível de ambição climática dos cenários. No conjunto, podem alcançar **até R$ 2 trilhões até 2055**. Embora as tecnologias tradicionais de geração permaneçam relevantes, a participação de tecnologias emergentes[35] – ainda incipientes na matriz nacional – cresce de forma significativa, podendo representar entre 10% e 30% dos investimentos necessários em geração de energia.

Investimentos na produção de combustíveis, captura de carbono e hidrogênio (R$ bilhões)



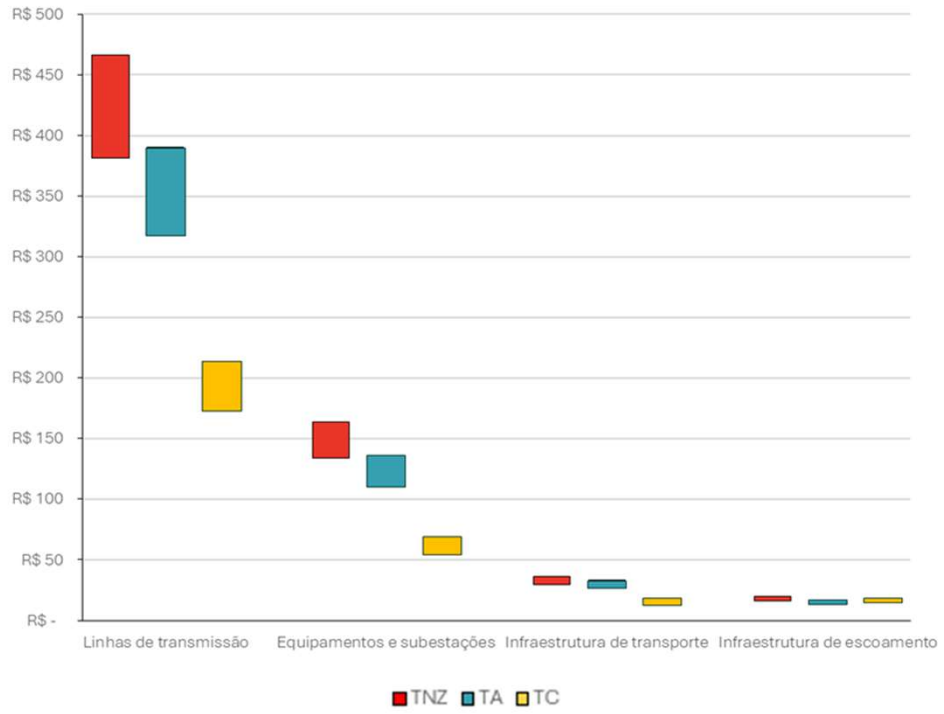
Investimentos na geração de eletricidade (R$ bilhões)



[32] O montante dos investimentos foi trazido a valor presente, com base monetária em 2025, considerando uma taxa de desconto de 8% a.a.
[33] Uma parcela de investimentos em biocombustíveis avançados está alocada em projetos de *retrofit* de refinarias de petróleo.
[34] Bioenergia com captura de carbono (BECCS) contempla apenas investimentos de captura e não considera investimentos para transporte e armazenamento.
[35] Eólica offshore, solar flutuante, térmicas com CCS, baterias (inclusive atrás do medidor), usinas hidrelétricas reversíveis, resposta da demanda e SMR foram considerados como tecnologias emergentes no mercado nacional, para fins da consolidação de investimentos. Demais opções, inclusive relacionadas à MMGD, foram consideradas como tecnologias tradicionais.

Investimentos na expansão da infraestrutura se mostram como condição viabilizadora da transição energética brasileira

Investimentos em infraestruturas do setor energético[36] (R$ bilhões)



Os investimentos em infraestrutura de gás natural e transmissão de energia fortalecem a segurança energética do Brasil, tornando o sistema mais resiliente a eventos climáticos e mais preparado para os desafios do futuro. A garantia da segurança energética constitui condição essencial para o alcance dos objetivos da transição energética.

- **A expansão da infraestrutura de transmissão pode mobilizar investimentos de até cerca de R$ 600 bilhões no longo prazo.** Investimentos proativos em transmissão são fundamentais para o fortalecimento do sistema elétrico, especialmente por meio da ampliação das interligações regionais e intrarregionais e da incorporação de tecnologias avançadas, contribuindo para elevar a resiliência e a confiabilidade da rede.
- **Integrada à diversificação da matriz de geração e à inserção de sistemas de armazenamento, a expansão da transmissão contribui significativamente para o aumento da segurança energética e da flexibilidade operativa**. Essa evolução permite ao sistema lidar de forma mais eficiente com a crescente participação de fontes variáveis, com os impactos de eventos climáticos extremos e com o surgimento de novas demandas com perfis distintos dos atuais.
- Com papel relevante na transição energética brasileira, **a expansão da infraestrutura de transporte e escoamento de gás natural pode estimular investimentos de até R$ 50 bilhões até 2055**, além de viabilizar a ampliação da oferta de biometano em sinergia com a infraestrutura de gás natural. A expansão de infraestruturas interligadas e resilientes contribui para atender ao crescimento da demanda industrial, consolidar mercados em localidades ainda não atendidas e apoiar o alcance das metas climáticas.

[36] Estimativas realizadas a partir dos dados obtidos dos exercícios quantitativos.

A reflexão estratégica do PNE 2055 nasce de uma abordagem prospectiva e sistêmica que se conecta a importantes desafios para a transição energética brasileira

A partir dos resultados dos cenários qualitativos e de sua quantificação, foram elaboradas recomendações estratégicas para avançar no sentido de uma visão de futuro em linha com um sistema energético descarbonizado como vetor de desenvolvimento sustentável. De forma simplificada, essa construção partiu da definição de **quatro pilares estratégicos**, que refletem desafios importantes. Tais desafios mapeados se desdobram em resultados esperados no horizonte de 2055, denominados **objetivos**. As **recomendações estratégicas**, por sua vez, endereçam possíveis formas de alcançar os objetivos que fazem frente aos desafios identificados, servindo de subsídio aos formuladores de políticas públicas.

Vale destacar que a elaboração estratégica do PNE contou com uma análise de oportunidades, ameaças e desafios de todos os cenários elaborados no âmbito do trabalho, e não apenas dos cenários quantificados, a fim de estimular o desenvolvimento de estratégias híbridas e robustas, que sejam resilientes a todos os cenários[38]. De toda forma, os resultados dos exercícios quantitativos adensaram as recomendações estratégicas aqui apontadas.

Pilares estratégicos



PILAR "SEGURANÇA E RESILIÊNCIA DO SISTEMA ENERGÉTICO"

Capacidade de o sistema energético atender à demanda com qualidade, confiabilidade e a preços acessíveis, mesmo em situações adversas, além de se adaptar a novas condições, como mudanças climáticas, avanços tecnológicos, variações de mercado, mudanças estruturais etc.

PILAR "ENERGIA COMPETITIVA PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO"

Descarbonização do sistema energético com competitividade e sustentabilidade, desenvolvendo cadeias relevantes e estratégicas para a transição energética brasileira e gerando impactos positivos na economia nacional. Ou seja, trata-se de um amplo processo de descarbonização, com agregação de valor para o País.

PILAR "POBREZA E JUSTIÇA ENERGÉTICA"

Promoção do acesso universal e equitativo aos serviços energéticos modernos, assegurando que os benefícios da transição energética sejam distribuídos de forma justa para a sociedade, sobretudo para os mais vulneráveis, promovendo a inclusão social, produtiva e regional.

PILAR "POLÍTICAS PÚBLICAS, REGULAÇÃO E FINANCIAMENTO PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA"

Necessidade de um arcabouço robusto e integrado de políticas públicas, instrumentos regulatórios e mecanismos de financiamento que mobilizem recursos para garantir uma transição energética justa e inclusiva.

[38] Esta e outras etapas de construção estratégica do PNE 2055 foram realizadas por meio de oficinas participativas e dinâmicas.

O PNE 2055 evidencia que a transição energética brasileira pode avançar de forma ordenada e equitativa, sustentada por bases técnicas sólidas e alinhada aos objetivos de desenvolvimento sustentável do País

A geopolítica da energia traz novos contornos e possibilidades para o ritmo dessa transição. Nesse contexto, o Brasil se destaca pela sua diversidade de recursos energéticos e por uma matriz cada vez mais descarbonizada, atributos que ampliam suas oportunidades de atuação em um cenário global de descarbonização.

Há amplo espaço para a descarbonização da demanda de energia, especialmente nos setores de difícil abatimento, como transportes e indústria.

Inovação, financiamento e novos modelos de negócio assumem papel central na viabilização de soluções cada vez mais integradas, competitivas, inclusivas e justas.

A erradicação da pobreza energética, a redução das desigualdades e a ampliação da capacidade produtiva e da competitiva das cadeias estratégicas para a transição energética figuram entre os principais desafios do período.

A liderança brasileira pode ser decisiva para o fortalecimento da integração energética regional e para uma inserção internacional estratégica e competitiva do setor energético nacional.

Trilhar este caminho rumo a um futuro energético sustentável no Brasil não será possível sem coordenação de políticas públicas, estabilidade institucional e amplo diálogo com a sociedade.

O Brasil já avança na construção de uma transição energética justa e inclusiva, amparado por políticas públicas vigentes e por iniciativas de inovação

De onde partimos?

Fact Sheet 10 Anos do Acordo de Paris



Fonte: EPE, Fact Sheet 10 Anos do Acordo de Paris.

O BRASIL ESTÁ CONSTRUINDO UM MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL PARA CONTINUAR AVANÇANDO NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

2016
- **Aplicação de recursos ao Procel** — Lei nº 13.280/2016

2017
- **Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio)** — Lei nº 13.576/2017

2018
- **Rota 2030** — Decreto nº 9.557/2018

2020
- **Regulamentação de limites de queima e perdas de gás natural no E&P** — Resolução ANP nº 806/2020
- **PDI para Transição Energética** — Resolução CNPE nº 2/2021

2021
- **Programa de Transição Energética Justa (TEJ)** — Lei nº 14.299/2022
- **Estratégia Federal de Incentivo ao Uso Sustentável de Biogás e Biometano e Programa Metano Zero** — Decreto nº 11.033/2022 e Portaria MMA nº 71/2022

2022
- **Secretaria Nacional de Transição Energética e Planejamento (SNTEP)** — Decreto nº 11.492/2023
- **Marco Legal da MMGD** — Lei nº 14.300/2022

2023
- **Programa Gás para Empregar** — Resolução CNPE nº 1/2023
- **Programa Energias da Amazônia** — Decretos nº 11.059/2022 e nº 11.648/2023
- **Programa Combustível do Futuro** — Lei nº 14.993/2024
- **Luz para Todos** — Decretos nº 11.628/2023 e nº 12.964/2026

2024
- **Política Nacional de Transição Energética** — Resolução CNPE nº 5/2024
- **Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões** — Lei nº 15.042/2024 - SBCE
- **Programa Mobilidade Verde e Inovação (MOVER)** — Lei nº 14.902/2024
- **Marco Legal do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono** — Leis nº 14.948/2024 e nº 14.990/2024
- **Marco Legal das Eólicas *Offshore*** — Lei nº 15.097/2025 e Resolução CNPE nº 1/2026
- **Luz do Povo** — Lei nº 15.235/2025

2025
- **Certificado de Garantia de Origem do Biometano (CGOB)** — Decreto nº 12.614/2025
- **Aumento da mistura obrigatória de etanol à gasolina C e do biodiesel ao diesel** — Resoluções CNPE nº 8/2025 e nº 9/2025
- **Programa de Aceleração da Transição Energética (PATEN)** — Lei nº 15.103/2025
- **Modernização do Marco Regulatório do Setor Elétrico** — Lei nº 15.269/2025
- **Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Rehidro)** — Decreto nº 13.096/2026
- **Estudos de Hidrelétricas e Sistemas de Armazenamento** — Resoluções CNPE nº 7/2026 e nº 8/2026
- **Gás do Povo** — Lei nº 15.348/2026, Decreto nº 12.649/2025 e Resolução CNPE nº 3/2026
- **Regulamentação do Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV)** — Decreto nº 13.094/2026

2026
- **Política Nacional de Minerais Críticos e Estratégicos (PNMCE)** — Lei nº 15.506/2026
- **Regulamentação do CCS** — Decreto nº 13.095/2026

O horizonte de longo prazo traz desafios cuja superação demanda a integração de diferentes políticas públicas e de um amplo diálogo entre os diversos setores da sociedade

- Nesse contexto, **a contribuição do PNE 2055 consiste em subsidiar tecnicamente a construção de uma visão compartilhada para o futuro do setor energético**, a partir da exploração de cenários, tendências e incertezas. Essa contribuição encontra respaldo na estrutura da Política Energética Nacional e, em especial, na **Política Nacional de Transição Energética (PNTE)**, instituída pela Resolução CNPE nº 5, de 2024. A PNTE busca integrar políticas, planos setoriais e instrumentos regulatórios e de financiamento, promovendo uma condução coordenada da transição energética brasileira. Ao articular os esforços das diferentes áreas de governo e potencializar o aproveitamento das vantagens nacionais, a política tem no **Plano Nacional de Transição Energética (Plante)** um de seus principais instrumentos de implementação.
- Nesse sentido, **a elaboração concomitante e articulada do PNE 2055 e do Plante fortalece a convergência com outras iniciativas estratégicas de caráter interministerial, como o Plano Clima, a Estratégia Brasil 2050, o Plano de Transformação Ecológica e a Nova Indústria Brasil**, ampliando a coerência e a coordenação de ações voltadas à transição energética e ao desenvolvimento sustentável do País.

Articulação de políticas públicas e meios de implementação que abordam a transição energética





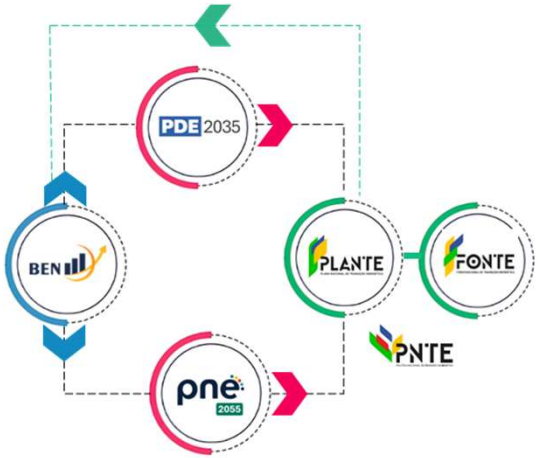
epe 20+

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

A Política Nacional de Transição Energética (PNTE) e seus instrumentos constituem um robusto arcabouço de governança, promovendo a integração entre a visão de longo prazo do PNE e os instrumentos estratégicos de curto e médio prazo

- O **Plano Nacional de Transição Energética (Plante) e o Fórum Nacional de Transição Energética (Fonte) são os principais instrumentos da PNTE** para a implementação de suas diretrizes. O Plante consiste em um plano de ação de longo prazo, estruturado em ciclos quadrienais de implementação, que articula os diversos planos, programas e iniciativas do Governo Federal relacionados à transição energética. Por meio de roadmaps, o plano sistematiza ações, identifica sinergias, lacunas e sobreposições, além de orientar a proposição de novas iniciativas. O Fonte, por sua vez, atua como instância permanente de diálogo entre governo, sociedade civil e setor produtivo, contribuindo para a transparência, a participação social e o aprimoramento contínuo da política de transição energética. Entre suas atribuições, destacam-se a elaboração de recomendações e a construção de consensos em torno dos desafios e oportunidades da transição energética brasileira.
- Os resultados qualitativos e quantitativos, bem como as considerações estratégicas do PNE 2055, constituem a principal referência técnica para a elaboração do Plante. Com base nos cenários de longo prazo e nos pilares do PNE, o plano organiza e prioriza ações voltadas à transição energética, detalhando, com embasamento técnico e ampla participação social por meio do Fonte, os caminhos para a construção de uma energia competitiva em uma economia de baixo carbono, com segurança, resiliência e justiça energética. Seus ciclos periódicos de implementação permitem o contínuo aperfeiçoamento das ações e sua adaptação às transformações econômicas, tecnológicas e sociais na trajetória até 2055.

Os instrumentos da Política Energética Nacional e da PNTE



Horizonte de planejamento do Plante ancorado nos cenários do PNE 2055



Obrigada



EPE Brasil @EPE_Brasil EPE

EPE - Empresa de Pesquisa Energética
Praça Pio X, n. 54
Centro – Rio de Janeiro – RJ
CEP: 20091-040





MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA