

Jornada Firjan pela

Energetica na Indústria



AMLIAMOS AS
DISCUSSÕES DA
COP30
PARA VOCÊ.

PARA VOCÊ.

OUT. 2025

Ficha Catalográfica

SENAI. Departamento Regional do Rio de Janeiro
S474j Jornada Firjan pela transição energética na indústria / Firjan SENAI
SESI... [et al.]. – 2. ed. – Rio de Janeiro: [s.n], 2025.
75 p. : il.

Edição elaborada com apoio de ABDAN, ABEN, ANEEL, CCEE, COGEN,
ENEL, ENGIE, EPE, Light Energia, Mattos Filho, Petrobras, Transpetro.
Título da 1ª edição: Transição e integração energética no Rio
Inclui bibliografia

1. Energia – Fontes renováveis. 2. Energia alternativa. 3. Rio de Janeiro.
I. Firjan Sesi. II. Título.

CDD 333.7938



OUT. 2025

www.firjan.com.br

Av. Graça Aranha, 1, 8º andar
Centro, Rio de Janeiro

Expediente

Firjan – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro

Presidente

Luiz César Caetano

1º Vice-Presidente Firjan

Carlos Erane de Aguiar

2º Vice-Presidente Firjan

Henrique Antônio Nora Oliveira Lima Junior

1º Vice-Presidente CIRJ

Isadora Landau Remy

2º Vice-Presidente CIRJ

Antonio Carlos Vilela

Diretora de Gestão de Pessoas, Diversidade e Produtividade

Adriana Torres

Diretor Executivo Sesi SENAI

Alexandre dos Reis

Diretora de Compliance e Jurídico

Gisela Pimenta Gadelha

Diretora de Finanças e Serviços Corporativos

Luciana Costa M. de Sá

Diretor de Competitividade Industrial, Inovação Empresarial e

Comunicação Corporativa

Maurício Fontenelle Moreira

Diretor de Educação e Cultura

Vinícius Cardoso

GERÊNCIA GERAL DE PETRÓLEO, GÁS, ENERGIAS E NAVAL

Gerente Geral de Petróleo, Gás, Energias e Naval

Karine Barbalho Fragoso de Sequeira

Gerente de Projetos

Thiago Valejo Rodrigues

Gerente de Cenários (Interino)

Savio Bueno Guimarães Souza

Coordenadora de Relacionamento e Parcerias

Juliana de Castro Lattari

Equipe

Bernard Melo Campos

Carina de Souza Torres Faria

Carolina de Moraes Ribeiro

Emanuelle Ferreira de Lima

Fabio Zaccaro Scelza

Felipe da Cunha Siqueira

Guilherme de Castro Souza

Iva Xavier da Silva

Letícia Cristina Pereira C. Nascimento

Manuella Gonçalves Lopes

Maria Eduarda Domingos de Menezes

Nicole Eduarte Silva Chifunga

Pedro Rodrigues da Silva Neto

Priscila Lima dos Santos Gomes

Raphaella de Moraes Chagas

Wilson Koji Matsumoto

PROJETO GRÁFICO

GERÊNCIA GERAL DE REPUTAÇÃO E COMUNICAÇÃO

Gerente Geral de Reputação e Comunicação

Luiz Phillipe Steenhagen Blower

Gerente de Comunicação Corporativa e Eventos

Amanda Zarife

Gerente de Publicidade e Marca

Fernanda Marino

Coordenadora de Criação e Produção Audiovisual

Danielle Pascoalino

Equipe Técnica

Margareth Moreira

Renata Mach

Colaboração Externa

ABDAN - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES NUCLEARES

Celso Cunha
Leonardo Paredes

ABEN - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR

Antônio Müller

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Agnes Maria

CCEE - CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Alexandre Ramos

COGEN - ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA

Newton Duarte

ENEL BRASIL

Marcia Massotti

ENGIE

Amanda Tavares
Cristina Sayão
Gustavo Labanca
Luísa Franca
Yanna Prade

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA

Heloisa Borges

LIGHT ENERGIA

Douglas Medeiros Barreto
Graciela Brighenti Campos Mendes
José Gomes Barbosa Júnior
Stéfano Miranda

MATTOS FILHO

Bruno Chedid
Clarissa Emanuela Leão Lima

PETROBRAS

Paulo Marinho

TRANSPETRO

Jones A. B. Soares

Sumário

LISTA DE SIGLAS6

EDITORIAL.....8

AGRADECIMENTOS9

APRESENTAÇÃO 10

A JORNADA PELA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E O ESTADO DO RIO DE JANEIRO 11

 Panorama das novas energias no estado do Rio de Janeiro12

 Hub energético do Rio de Janeiro: Mapa de Energias no Rio de Janeiro 16

A JORNADA PELA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: REFLEXÕES SOB A
ÓTICA DA REGULAÇÃO E PLANEJAMENTO21

 A visão da ANEEL para a transição energética22

 A comercialização de energia sob a ótica da transição e integração energética:
 desafios e oportunidades26

 Rotas tecnológicas e o papel dos ganhos de eficiência na transição energética29

A JORNADA PELA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: CAMINHOS PARA A
INDÚSTRIA E A SOCIEDADE34

 SMRs: A nova fronteira da energia nuclear.....35

 Os desafios da formação e qualificação de mão de obra para o futuro da
 energia nuclear no Brasil no âmbito da transição energética.....37

 A contribuição da cogeração para confiabilidade e a resiliência do setor
 energético..... 41

 O futuro da energia e os impactos na qualidade de vida da sociedade46

 Como os projetos de gás natural podem contribuir no contexto da transição
 energética?52

 Usinas hidrelétricas reversíveis: pilar estratégico para a transição energética
 brasileira.....57

 Marcos legais recentes e Agenda Regulatória da ANP para a transição
 energética no Brasil 61

 Petrobras impulsionando a transição energética: Inovação offshore e o potencial
 transformador do projeto piloto CCS Cabiúnas-São Tomé64

 Perspectivas tecnológicas para descarbonização do transporte marítimo69

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 74

Lista de siglas

A

ABDAN - Associação Brasileira para o Desenvolvimento de Atividades Nucleares

ABEN - Associação Brasileira de Energia Nuclear

AIEA - *International Atomic Energy Agency*

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP - Agência Nacional de Petróleo

B

BESS - *Battery Storage System*

BTU - *British Thermal Unit*

BCG - *Boston Consulting Group*

C

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CBio - Crédito de Descarbonização

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CCS - *Carbon capture and storage*

CCUS - *Carbon capture, use and storage*

CDE - Conta de Desenvolvimento Energético

CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CO₂ - Dióxido de carbono

COGEN - Associação da Indústria de Cogeração de Energia

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

CRCN-NE - Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste

E

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EU - *European Union*

EU ETS - *European Union Emission Trading System*

F

FAPERJ - Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro

FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro

FPSO - *Floating, production, storage and offloading*

G

GEE - Gases do Efeito Estufa

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

GNA - Gás Natural Açú

GNC - Gás Natural Comprimido

GNL - Gás Natural Liquefeito

GNV - Gás Natural Veicular

GSF - *Generation Scaling Factor*

GW - Gigawatts

H

H₂ - Hidrogênio

I

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IEA - *International Energy Agency*

IEN - Instituto de Engenharia Nuclear

IMO - *International Maritime Organization*

INCT - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia

INEA - Instituto Estadual do Ambiente

IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

L

LABGENE - Laboratório de Geração de Energia Núcleo-Elétrica

LDES - *Long Duration Energy System*

M

MME - Ministério de Minas e Energia

MP - Medida Provisória

MW - Megawatts

O

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

P

P, D&I - Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação

PIB - Produto Interno Bruto

PL - Projeto de Lei

PPSA - Pré-Sal Petróleo S/A

PROPDI - Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação

PRIS - *Power Reactor Information System*

R

REDUC - Refinaria Duque de Caxias

S

SAF - *Sustainable Aviation Fuel*

SEB - Sistema Elétrico Brasileiro

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SESI - Serviço Social da Indústria

SIE - Sistema Integrado de Escoamento

SIN - Sistema Interligado Nacional

SIP - Sistema Integrado de Produção

SMR - *Small Modular Reactors*

T

TEP - Tonelada Equivalente de Petróleo

U

UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense

UEP - Unidade Estacionária de Produção

UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro

UESC - Universidade Estadual de Santa Catarina

UFF - Universidade Federal Fluminense

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UHE - Usina Hidrelétrica

UHR - Usina Hidrelétrica Reversível

UPGN - Unidade de Processamento de Gás Natural

UTE - Usina Termelétrica

UTGCAB - Unidade de Tratamento de Gás de Cabiúnas

USP - Universidade de São Paulo

W

WFER - *World Forum on Energy Regulation*

Editorial

A transição energética que vivenciamos não é um processo recente, e sim fruto de fatores e anseios da sociedade que se acumulam ao longo dos anos até que se possa implementá-la de forma gradual. A evolução tecnológica se dá por meio de conhecimentos que vão sendo agregados e aperfeiçoados até que a tecnologia possa se tornar acessível e segura para ser utilizada. A energia solar em larga escala como utilizamos atualmente, por exemplo, tem adquirido cada vez mais espaço na matriz energética global, porém suas bases se deram a partir de conhecimentos acumulados desde o século XIX com a descoberta do efeito fotovoltaico, por Alexandre-Edmond Becquerel, em 1839. Posteriormente, tecnologias foram sendo desenvolvidas, mas ainda sem a eficiência necessária para uso comercial, até que em 1954 veio a primeira célula solar prática de silício. Com os anseios crescentes da sociedade por fontes de energia de baixo carbono, intensificou-se o interesse da indústria a partir do século XXI, alcançando avanços tecnológicos que permitiram ampliar sua escala e uso comercial.

Este ciclo da energia solar é um exemplo de como a adoção de uma fonte energética pode levar tempo para ocorrer, cuja velocidade de implementação é dada pelos avanços tecnológicos e pela sociedade. É pensando neste conceito, visando maximizar o aproveitamento do melhor que cada tecnologia e cada fonte energética pode nos oferecer, que a Firjan externaliza sua visão da transição energética: uma jornada de construção e colaboração entre os diferentes atores e segmentos da sociedade, trazendo não apenas soluções tecnológicas, mas considerando que elas possam, de fato, trazer melhoria na qualidade de vida das pessoas.

A compreensão deste conceito nos leva a oportunizar de forma sustentável, acessível e segura os recursos energéticos do estado do Rio de Janeiro e do Brasil, contribuindo junto às esferas governamentais para que a energia seja o motor que vai impulsionar nosso desenvolvimento como estado e nação.



O aproveitamento dos potenciais energéticos locais, o desenvolvimento de tecnologias, a descarbonização das atividades energéticas e industriais, a importância da segurança operacional e da capacitação da mão de obra, além dos impactos na qualidade de vida da sociedade, fazem parte do amplo contexto da transição energética, o qual procuramos desenvolver e explorar ao longo das visões de importantes atores da indústria nesta publicação.

Com a segunda edição de nossa publicação dedicada ao tema da transição energética, agora intitulada *Jornada Firjan pela Transição Energética na Indústria*, esperamos trazer uma contribuição que possa agregar conhecimentos qualificados na construção de um futuro melhor para a indústria e as empresas, em sinergia com nossas áreas de tecnologia, sustentabilidade, educação, saúde e energia.

Boa leitura!

Luiz Césio Caetano

Presidente da Firjan

Agradecimentos

A elaboração da segunda edição da publicação *Jornada Firjan pela Transição Energética na Indústria*, anteriormente intitulada *Transição e Integração Energética no Rio*, é fruto de uma colaboração entre os principais agentes do mercado de energia, unindo diferentes visões da indústria e de instituições de grande relevância e atuação destacada em prol do desenvolvimento deste mercado. Com parcerias internas e externas, a Firjan SENAI SESI segue seu propósito de construir um melhor ambiente de negócios por meio de sua atuação, promovendo uma escuta ativa da indústria e seus agentes, de modo a superar os desafios futuros de todo o ecossistema energético local.

Explicitamos aqui nossos agradecimentos aos parceiros externos, que colaboraram de forma significativa para esta publicação:

À **ABEN – Associação Brasileira de Energia Nuclear**, pelo papel fundamental na promoção da ciência, tecnologia e inovação no setor nuclear, contribuindo para o desenvolvimento energético brasileiro.

À **ABDAN – Associação Brasileira para Desenvolvimento de Atividades Nucleares**, pela atuação no fortalecimento da energia nuclear como fonte necessária para a diversificação da matriz energética fluminense.

À **ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica**, pela contribuição técnica que promove a integração das diferentes fontes de energia no segmento elétrico.

À **CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica**, pela coordenação e viabilização das transações de energia, assegurando equilíbrio e transparência ao mercado elétrico.

À **COGEN – Associação da Indústria de Cogeração de Energia**, pelo papel estratégico na promoção da eficiência energética e inovação tecnológica no setor elétrico do país.

À **Enel Brasil**, pelo papel de destaque no setor elétrico e pela promoção de soluções energéticas sustentáveis.

À **EPE – Empresa de Pesquisa Energética**, pela atuação no planejamento do setor energético, cuja produção de análises técnicas contribui para a diversificação e o desenvolvimento da matriz energética.

À **Engie**, por sua atuação na promoção de uma transição energética justa e abrangente, fortalecendo a integração entre inovação e sustentabilidade no setor.

À **Light Energia**, pela experiência e planejamento estratégico que fortalecem o fornecimento de energia, apoiando o desenvolvimento da indústria fluminense.

À **Mattos Filho**, por sua atuação destacada na resolução de importantes questões pertinentes à múltiplos mercados, incluindo o energético.

À **Petrobras**, pela relevância no cenário energético brasileiro e pela contribuição decisiva ao avanço da transição energética.

À **Transpetro**, pela atuação com excelência na logística da cadeia produtiva de petróleo e gás, fortalecendo a eficiência e a sustentabilidade do setor energético.

Apresentação

O processo de transformação do setor energético global rumo a uma maior diversificação de fontes e à descarbonização dos processos industriais é parte de um ecossistema dinâmico que conjuga o aumento da demanda energética, o desenvolvimento tecnológico, o ganho de eficiência, a redução das emissões e o atendimento das metas socioambientais, além da melhoria da qualidade de vida da sociedade.

A *Jornada Firjan pela Transição Energética na Indústria* busca traduzir esse ecossistema em uma visão dos agentes que vivenciam tais desafios em suas operações diárias, trazendo uma abordagem colaborativa de diferentes atores do mercado.

No contexto nacional, as fontes renováveis vêm apresentando uma trajetória consistente de expansão na matriz energética brasileira. De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2025, divulgado pela EPE, em 2024 estas fontes corresponderam a 50% da oferta total de energia, avanço significativo diante do patamar de 39,4% registrado em 2014, conforme apresentado no Balanço Energético Nacional de 2015. Este desempenho evidencia a crescente predominância destas fontes e o fortalecimento de tecnologias de menor intensidade carbônica, posicionando o país como uma das lideranças às metas globais de descarbonização.

Um dos mais importantes polos energéticos nacionais, o Rio de Janeiro consolida ainda mais sua relevância ao combinar a liderança histórica na produção de petróleo e gás com sua potencialidade em produção de fontes de baixa emissão. O estado avança na incorporação de novas energias, destacando-se pelos investimentos em projetos de energia eólica *offshore*, solar fotovoltaica e hidrogênio, sinalizando um caminho de transformação em direção a uma economia mais sustentável e diversificada.

Esta publicação reúne contribuições de diferentes agentes estratégicos para a transição energética, explorando cenários e abordagens complementares sobre os desafios e oportunidades da transição energética.

A publicação se inicia com a contribuição da Firjan, que apresenta um diagnóstico das oportunidades e desafios

locais, mapeando iniciativas, projetos e potencialidades das fontes renováveis e de novas tecnologias no Estado do Rio de Janeiro, situando-o como ator estratégico na transição energética nacional.

No campo das políticas públicas, da regulação e do planejamento, a ANEEL compartilha sua visão regulatória sobre os desafios e oportunidades da transição energética no Brasil; a CCEE aborda a comercialização de energia, destacando seus entraves e oportunidades diante do processo de integração energética; e a EPE evidencia as rotas tecnológicas e o papel dos ganhos de eficiência na transição.

Sob a ótica setorial, a ABDAN apresenta o avanço dos SMRs, consolidando a nova fronteira da energia nuclear, enquanto a ABEN trata da formação e qualificação da mão de obra necessária para o futuro da energia nuclear no Brasil. Em sequência, a COGEN ressalta a contribuição da cogeração para a confiabilidade e a resiliência do setor energético.

Posteriormente, a Enel discute os impactos do futuro da energia na qualidade de vida da sociedade, e a Engie analisa como projetos de gás natural podem contribuir no contexto da transição. A Light Energia enfatiza a relevância estratégica das usinas hidrelétricas reversíveis como pilar da transição energética brasileira. Por sua vez, a empresa Mattos Filho apresenta sua visão sobre os recentes Marcos Legais e a Agenda Regulatória da ANP, fundamentais para orientar e consolidar o avanço da transição energética no país.

Por fim, a Petrobras detalha sua atuação em inovação *offshore* e o potencial transformador do projeto piloto de captura e armazenamento de carbono (CCS) em Cabiúnas-São Tomé, enquanto a Transpetro explora as perspectivas tecnológicas voltadas para a descarbonização do transporte marítimo.

Dessa forma, esta edição reafirma o compromisso da Firjan SENAI SESI em promover o debate e o compartilhamento de experiências sobre as rotas para a descarbonização, eficiência e integração energética, reforçando o papel estratégico do Rio de Janeiro como protagonista no cenário energético brasileiro.



A Jornada pela Transição Energética e o Estado do Rio de Janeiro



Panorama das novas energias no estado do Rio de Janeiro

É notório que o Brasil e o estado do Rio de Janeiro se encontram em uma posição bastante favorável no que se refere às metas globais visando uma matriz energética mais limpa. Este fato nos coloca em vantagem em relação aos anseios por uma transição energética para uma matriz de baixo carbono, principalmente no que se refere ao uso de energias renováveis.

De acordo com dados do Energy Institute (2025), o Brasil possui 35% de renováveis em sua matriz energética. Entre os 15 países de maior demanda energética, apenas quatro apresentam participação superior a 10%, e nenhum deles ultrapassa 15%.

Se considerarmos também a energia nuclear como uma fonte primária de baixo carbono, apenas a França teria parcela superior ao Brasil, enquanto os demais países não se aproximariam do nosso patamar. A avaliação apenas da matriz elétrica reforça ainda mais a posição de destaque do nosso país, com 87% da matriz elétrica nacional sendo composta por fontes renováveis, chegando a 89% ao adicionarmos a energia nuclear.

Este cenário nos mostra que a questão energética não é um problema para o país, e sim um diferencial competitivo ao pensarmos em um modelo de matriz descarbonizada e seu uso pela indústria na produção de bens e execução de serviços com menor impacto nas emissões, como abordado em publicações anteriores da Firjan².

O estado do Rio de Janeiro tem papel de destaque na pauta energética nacional, consolidando sua tradição a partir de seus potenciais e da capacidade de inovação de sua indústria, o que o leva a ser reconhecido mundialmente como um importante polo energético *offshore*. O caminho para o mar se deu de forma natural a partir das primeiras descobertas de petróleo na bacia de Campos ao final da década de 70, sendo até os dias de hoje a principal força motriz de nossa economia.

A construção desse ambiente de desenvolvimento energético no estado permitiu ao Rio de Janeiro desenvolver infraestrutura associada a este mercado, concentrar

um grande número de trabalhadores qualificados com *know-how* de operações, estabelecer base industrial de alta tecnologia, desenvolver universidades e indústria na busca de soluções inovadoras, criando um ambiente propício ao avanço das novas energias, principalmente aquelas ligadas ao mar.

Atualmente, o estado responde por mais de 85% da produção nacional de petróleo e gás, com o protagonismo se deslocando da bacia de Campos para a bacia de Santos – em especial com os grandes volumes desenvolvidos a partir do pré-sal. Porém, apesar da migração dos polos produtores, o litoral fluminense se manteve na dianteira deste mercado, contribuindo para a geração de riquezas e conhecimento para o estado e o país.

A combinação do potencial energético com um ambiente de negócios consolidado, com importantes infraestruturas já instaladas, como portos estruturados, refinarias, unidades de processamento de gás natural, gasodutos e oleodutos, além dos centros de pesquisa, permitiu ao estado atrair algumas das maiores empresas de energia do mundo, gerar oportunidades para o crescimento da Petrobras e desenvolver fornecedores locais, garantindo uma cadeia produtiva robusta e integrada.

O mapeamento da base industrial de petróleo, gás, energias e naval realizado pela Firjan identificou que a cadeia integrada de petróleo e gás no Rio de Janeiro conta com mais de 5.500 CNPJs ativos. É importante ressaltar que muitas destas empresas já se encontram aptas, nos dias de hoje, a atender às demandas do cenário atual de transição energética, contribuindo para o desenvolvimento local das novas energias. O papel da indústria de petróleo neste cenário e nos ganhos de competitividade de novas fontes energéticas, também é perceptível ao analisar os amplos montantes alocados em P, D&I no país dedicados a esta temática.

Nesse sentido, cabe destacar também o papel da Firjan SENAI como instituição que traz importante contribuição para o desenvolvimento histórico do mercado ener-

¹ 2025 Energy Institute Statistical Review of World Energy

² Anuário do Petróleo no Rio 2022 e Panorama Naval no Rio de Janeiro 2022.

gético local, seja pela formação e capacitação de mão de obra, seja pelos seus Institutos de Tecnologia, cujos exemplos de casos de sucesso, demonstrados ao longo deste artigo, reforçam a capacidade da instituição em potencializar nossa indústria.

A expertise adquirida no mercado de óleo e gás abre caminho para a diversificação da matriz energética e redução das emissões de carbono a partir do mar, com destaque para as fontes renováveis como a eólica *offshore*, o hidrogênio de baixo carbono e a CCS.

Em conjunto, os projetos *onshore* existentes e aqueles em desenvolvimento nas áreas de energia solar fotovoltaica, hidrelétricas e energia nuclear fortalecem a importância da integração energética para o melhor aproveitamento de nossos potenciais e do que cada fonte pode oferecer de melhor. Nesse sentido, é importante destacar que o estado do Rio de Janeiro é o único do país a possuir um parque gerador termelétrico nuclear, em operação desde 1985, quando a Usina Angra I iniciou suas atividades.

Esta integração é fundamental ao se considerar os impactos do crescimento da geração distribuída e das múltiplas e diversificadas intermitências que muitas das fontes renováveis apresentam, fortalecendo a segurança energética no Brasil. As competências técnicas, regulatórias e operacionais do segmento petrolífero podem e devem ser transferidas para essas novas frentes, acelerando sua maturação e competitividade.

Grandes companhias nacionais e internacionais têm desenvolvido estudos, projetos-piloto e novas soluções energéticas no litoral fluminense, como as 12 empresas que entraram com pedido de licenciamento ambiental ao IBAMA para a instalação de eólicas *offshore*. Como exemplo, a Equinor, responsável pelo projeto Aracatu, é também a operadora do projeto Raia, que vai disponibilizar gás natural processado diretamente na plataforma,

além das parcerias de diversas empresas com o Porto do Açu para possíveis projetos de produção de hidrogênio. Arelada ao contexto energético atual, a questão da descarbonização também integra o conjunto de soluções inéditas que estão sendo ou ainda serão implementadas nos projetos do estado, como a eletrificação de plataformas e o projeto de CCS no Norte Fluminense, pela Petrobras.

A presença de *players* globais e centros de excelência tecnológica garantem um ecossistema favorável à inovação, integrando indústria, governo, instituições de ensino e sociedade.

A Firjan, por meio de uma atuação consolidada no "[Painel de Projetos de Energia](#)" identificou projetos potenciais que, ao serem destravados, poderiam gerar investimentos de mais de R\$ 1 trilhão no horizonte 2035+, contribuindo ainda mais para a diversificação do portfólio energético do estado. A concretização de tal carteira de projetos poderia se desdobrar em novos empregos de elevada qualificação, ampliação da base industrial e reforçar o posicionamento do estado como líder na transição e integração energética brasileira. Recentemente, alguns avanços regulatórios foram aprovados e tendem a contribuir positivamente para a concretização futura de projetos de energia, como nos casos do chamado "Combustível do Futuro"³, do hidrogênio⁴ e das eólicas *offshore*⁵. Estes avanços, atrelados à sinalização positiva dos órgãos ambientais, são fundamentais para garantir maior segurança jurídica e atrair empresas interessadas em realizar investimentos. Segundo o IBAMA (2025), a costa brasileira possui um potencial superior a 247 GW de geração eólica no mar, dos quais aproximadamente 15% se concentram em áreas marítimas na costa do Rio de Janeiro, com 16 projetos com pedido de licenciamento ambiental. Para se ter uma ideia deste potencial eólico em alto mar, ao

³ Lei nº 14.993, de outubro de 2024. Institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano.

⁴ Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024. Institui o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono; dispõe sobre a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono; institui incentivos para a indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono; institui o Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Rehidro); cria o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC).

⁵ Lei nº 15.097, de 10 de janeiro de 2025. Disciplina o aproveitamento de potencial energético offshore.

considerarmos apenas os projetos localizados no estado em termos de capacidade instalada, eles equivaleriam a cerca de 2,6 usinas hidrelétricas de Itaipu. A avaliação da Firjan, mesmo eliminando a sobreposição de áreas com pedido de licenciamento, ainda assim mostra um expressivo potencial, totalizando 28 GW — cerca de duas vezes a capacidade instalada de Itaipu.

Ao vislumbrarmos também os potenciais produtivos de hidrogênio de baixo carbono a partir destes projetos, temos na infraestrutura portuária existente um forte aliado para a consolidação do estado como futuro *hub* de produção e exportação de hidrogênio verde, o que contribuiria para melhores indicadores de nossa balança comercial.

Também é viável conjecturar que, futuramente, o grande número de reservatórios depletados pela produção de óleo e gás no estado se apresente como alternativas bastante plausíveis para o armazenamento de CO₂ em larga escala, uma solução para a descarbonização do setor energético e industrial.

Diante destas oportunidades, temos o desafio de traduzir esse potencial em reflexos para a indústria local, maximizando a geração de valor agregado ao longo do encadeamento produtivo. Na fase inicial, de implementação e construção dos ativos energéticos, uma série de demandas são geradas, em uma cadeia que movimenta desde a engenharia e outros serviços, até a fabricação de máquinas e equipamentos dedicados. Porém, a importância destes projetos vai além do período de construção, se estendendo por um horizonte de médio e longo prazos. Em termos de operação, em geral, projetos de energia possuem um ciclo de vida de seus ativos

superior a 20 anos, garantindo a continuidade de demandas de toda uma cadeia ligada à operação, ao reparo e à manutenção ao longo de todo esse período.

A viabilização dos novos projetos de energia apresentados no Mapa do “**Hub Energético Rio de Janeiro**” tem potencial para gerar uma série de novos empregos de elevada qualificação em diversas frentes, como técnicos, engenheiros e atividades relacionadas, trazendo perspectivas adicionais ao petróleo e gás para o aumento dos níveis salariais no estado, geração de emprego e renda e desenvolvimento industrial, além de gerar novos recursos para aumento da arrecadação nas diferentes esferas governamentais.

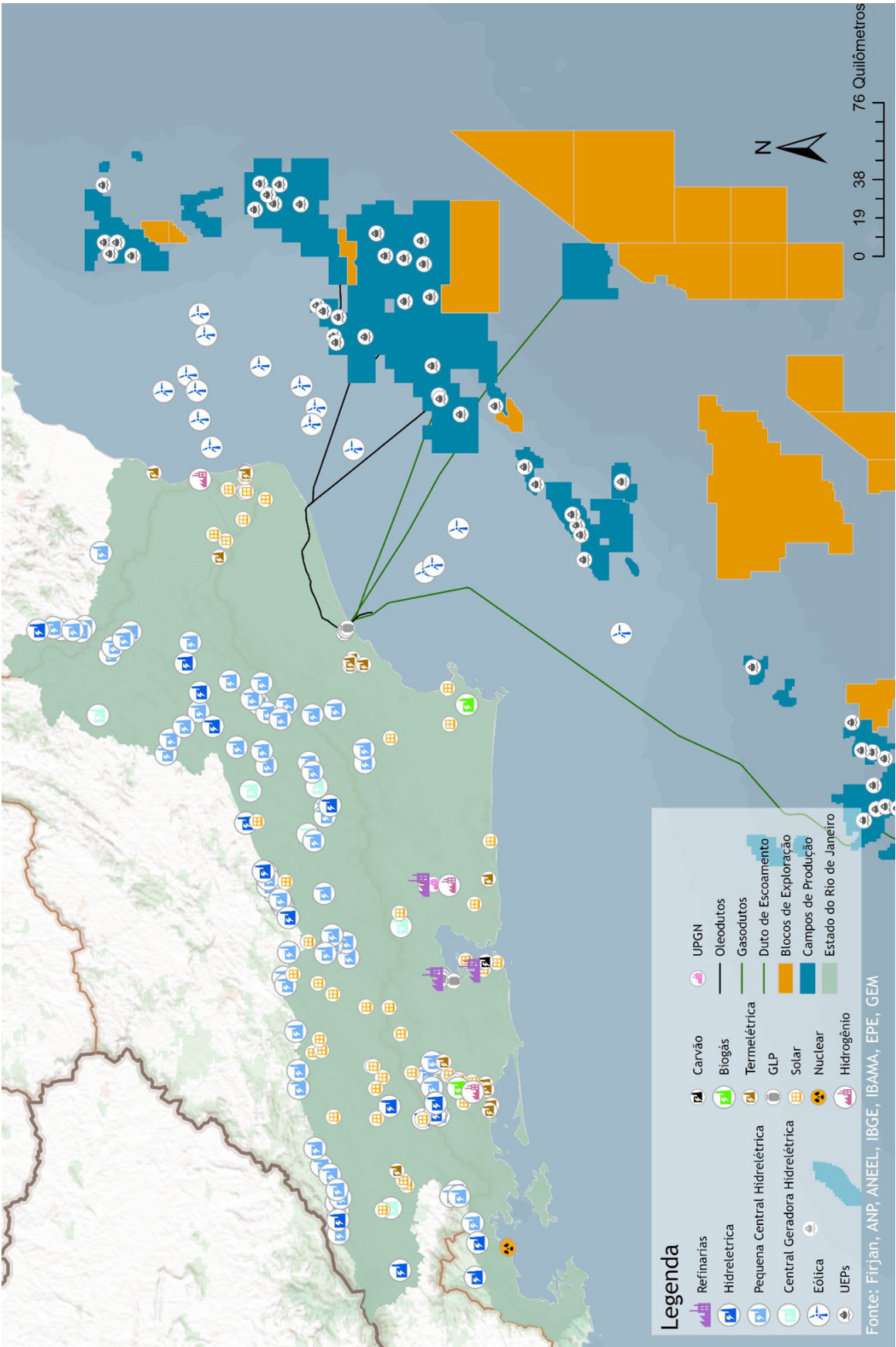
A consolidação do Rio de Janeiro como um *hub* de energia nacional passa naturalmente por sua localização estratégica diante do seu enorme potencial produtivo energético, da grande presença de infraestrutura instalada e pela proximidade dos principais mercados consumidores do país, reduzindo, assim, a necessidade de investimentos adicionais em infraestruturas dedicadas à logística energética entre as instalações de produção e o consumidor final, além das perdas técnicas pelo transporte energético a longas distâncias.

Estamos diante de uma grande oportunidade para o estado liderar a transição energética no país de forma justa, sustentável, segura e eficiente, em uma jornada que deve ser trabalhada para que o estado potencialize seus recursos em prol do desenvolvimento econômico e da melhoria da qualidade de vida de seus habitantes, transformando-o em uma referência global que contemple outros mercados de energia além do petróleo *offshore*.

A publicação *Jornada Firjan pela Transição Energética na Indústria* é uma das iniciativas da Firjan para promover informações qualificadas sobre o cenário energético fluminense e seus potenciais, evidenciando os desafios e as oportunidades sob a ótica dos principais agentes deste mercado. A versão digital deste documento, bem como o Painel Dinâmico de Projetos de Energia e o Mapa interativo do *Hub Energético* do Rio de Janeiro, podem ser acessados na página da Firjan, no ambiente dedicado ao tema: www.firjan.com.br/firjan/empresas/competitividade-empresarial/petroleoegas/integracao-energetica/



Figura 1: *Hub* Energético do Rio de Janeiro



Fonte: Firjan

*Hub Energético do Rio de Janeiro apresenta empreendimentos de geração de energia em operação, em construção e projetos

Hub energético do Rio de Janeiro:

Mapa de Energias no Rio de Janeiro

16

No ambiente *offshore* fluminense estão em operação 65 UEPs de petróleo e gás, distribuídas em mais de 50 campos, que são responsáveis por mais de 85% da produção nacional de petróleo, alcançando cerca de três milhões de barris por dia. Estão previstas ainda 16 novas UEPs em óleo e gás, a ampliação da produção do pré-sal na Bacia de Santos, a revitalização dos campos maduros da mesma bacia e o desenvolvimento do projeto Raia. Apenas em ativos da Petrobras o potencial estimado é de acréscimo de 2,5 milhões de barris de petróleo por dia até 2035, e 35 milhões de metros cúbicos de gás natural escoados da produção *offshore* no Rio de Janeiro. Para atender toda a produção de óleo e gás fluminense, a infraestrutura de dutos do Rio de Janeiro conta com aproximadamente cem interligações mapeadas de norte a sul do estado, além da rede dedicada ao transporte e escoamento de gás natural, que já opera com os sistemas Rota 2 e Rota 3, enquanto o Rota 5 é planejado para atender ao projeto Raia. Os oleodutos estão conectados às três refinarias em operação no estado – Cabiúnas, Manguinhos e Reduc – com projeto de integração ao Complexo Boaventura, em Itaboraí. Esse complexo também amplia a capacidade de processamento de gás com a recém-inaugurada UPGN e capacidade de refino do estado com a Refinaria em construção, que se soma às unidades de processamento localizadas em Macaé, no Terminal de Cabiúnas, e em Duque de Caxias, na Reduc.

A infraestrutura de gás natural no estado inclui ainda a rede de distribuição que abastece residências, comércios, postos de GNV e indústrias, com demanda de aproximadamente 25 milhões de metros cúbicos por dia. Outras plantas industriais também são supridas por GNL e GNC em pontos onde a rede de distribuição não alcançaram, reforçando a necessidade de ampliação. O parque termoeletrico fluminense é um dos mais robustos do país, aproveitando a disponibilidade de gás natural para garantir segurança energética. São mais de 40 usinas termelétricas entre instaladas e projetos confirmados, com capacidade instalada acima de 1000 MW, além de grandes empreendimentos como a GNA I e II, consideradas o maior parque termelétrico a

gás natural da América Latina, com geração de 3000 MW. Em paralelo, a adição da GNA III aos projetos de termelétricas previstos soma quase 2000 MW adicionais à base do sistema energético brasileiro, atuando em complementaridade às fontes intermitentes e assegurando o abastecimento nacional, mas já preparada para operar com Hidrogênio de baixo carbono, como as anteriores. Em paralelo, o parque termoeletrico no estado segue em expansão, com projetos previstos no complexo termelétrico de Macaé e duas UTEs no Complexo Boaventura, em Itaboraí.

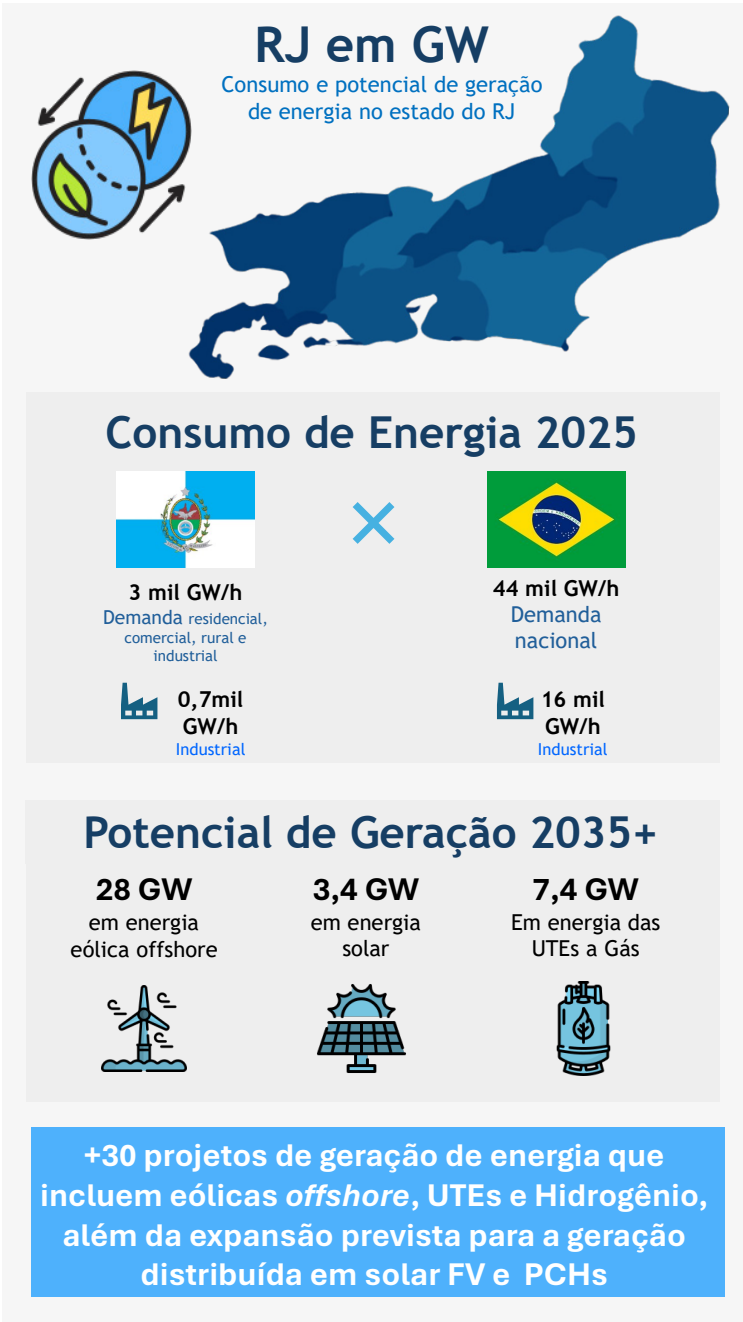
No campo do hidrogênio de baixo carbono, o Rio de Janeiro reforça sua posição como *hub* energético nacional, com seis projetos em andamento, entre pilotos e comerciais. O foco é atender às demandas de setores de alta intensidade energética, como transporte marítimo e indústrias siderúrgicas, conhecidos como *hard to abate*. Apesar do potencial, sua implementação requer grande disponibilidade energética e infraestrutura de distribuição robusta, ambos fatores onde o Rio de Janeiro é pioneiro. Entre os diversos grandes projetos em desenvolvimento para diversificação da matriz, destacam-se a eólica *offshore*, com 16 empreendimentos em processo de licenciamento no Ibama, totalizando 28 GW de potência mapeada segundo as sobreposições geográficas. A expectativa é que os leilões de áreas sejam iniciados em 2026, atraindo grandes *players* globais como Equinor, Total e Shell. A Petrobras também conduz um projeto-piloto no Porto do Açu, criando um site de testes que busca acelerar a tomada de decisão de investimentos, garantindo segurança e previsibilidade no financiamento de projetos de maior escala.

A integração energética do estado também passa pela diversificação das fontes. Já foram mapeados mais de 60 pontos de geração solar fotovoltaica e cerca de cem pequenas centrais hidrelétricas. Os SMRs despontam como alternativa para o futuro da geração nuclear em menor escala em conjunto com fontes já disseminadas, combinando segurança energética e baixo carbono. A matriz nuclear fluminense também deve ganhar reforço com a conclusão da terceira usina em Angra dos Reis, ampliando a capacidade instalada da região.

Além das iniciativas de geração, outras tecnologias são fundamentais para que o estado avance rumo a uma matriz mais limpa, alinhada às metas globais de neutralidade de carbono. Entre elas, destacam-se os projetos de CCUS, considerados essenciais para reduzir emissões em setores fósseis que permanecerão relevantes na matriz energética. Essa perspectiva, somada ao caráter já altamente renovável da matriz elétrica fluminense, fortalece a posição do Rio de Janeiro como produtor de óleo e gás

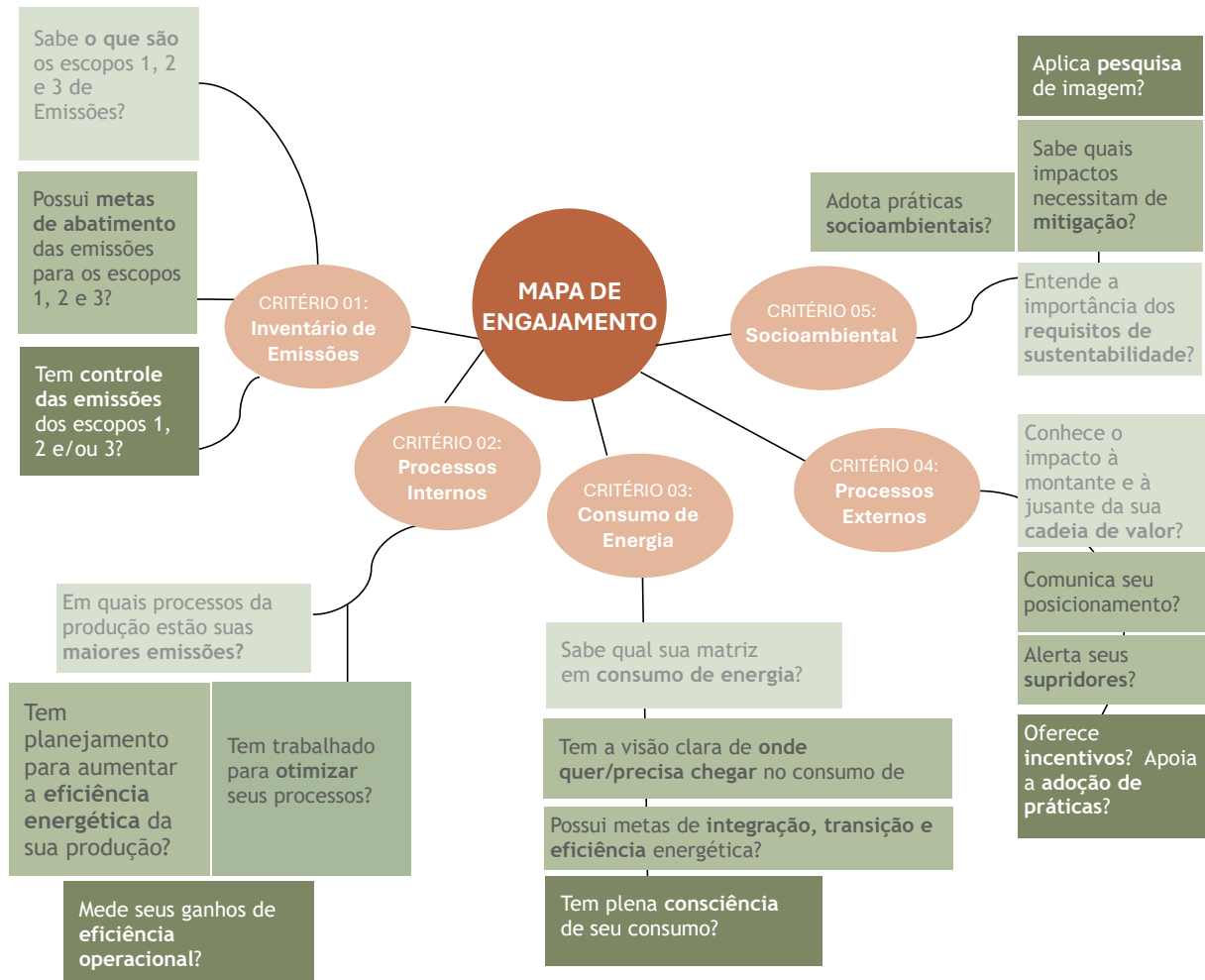
com uma das menores pegadas de carbono do mundo. Por fim, o desenvolvimento da cadeia fornecedora será decisivo para atender às novas demandas do setor, especialmente em matérias-primas, tecnologias e mão de obra qualificada. A produção e o fornecimento de minerais críticos, por exemplo, ganham relevância no contexto da transição energética, devido ao papel central que desempenham na expansão da capacidade de armazenamento e na fabricação de baterias.

Figura 2: Rio de Janeiro em Gigawatts



Fonte: Firjan

AVALIE O NÍVEL DE ENGAJAMENTO DA SUA EMPRESA NA
JORNADA DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA



NÍVEIS DE ENGAJAMENTO

CONSCIENTE (ENTENDIMENTO)	ADERENTE (COMPROMISSO)	ENGAJADO (MEDIÇÃO)
0 A 9 PONTOS	9 A 16 PONTOS	17 A 19 PONTOS

ENTENDA COMO ALCANÇAR MELHORES RESULTADOS ENTRANDO EM
CONTATO CONOSCO!



FORMULÁRIO MAPA DE ENGAJAMENTO

MATRIZ DE SOLUÇÕES PARA SUA EMPRESA

NÍVEL DE ENGAJAMENTO	Firjan  Firjan 	Firjan 	Firjan 	Firjan 
CONSCIENTE	- Assessoria em Sustentabilidade - Assessoria em Eficiência Energética - Estudos Econômicos	- Formação Profissional - Cursos Técnicos SENAI - Elétrica e Energias Renováveis - Mecatrônica - Mecânica	- Diagnóstico e Mapeamento de Saúde - Treinamentos em Normas Regulamentadoras (NRs) - Certificações	Cursos e Oficinas Casa Firjan
ADERENTE	- Assessoria em Inteligência Comercial - Participações em Missões Internacionais	- Educação - Unidades móveis SENAI - Atendimento SENAI na sua empresa - Serviços Tecnológicos - Institutos de Tecnologia e Inovação Firjan SENAI	- Gestão de Absenteísmo - Segurança do Trabalho: Laudos Técnicos (Ruído, Calor etc.) - Consultoria para adequação às NRs	- Capacitação em Sustentabilidade - Programa para Gestores (Capacitação Executiva)
ENGAJADO	- Assessoria em Comércio Exterior, Crédito e Financiamento, jurídico - Conecta Negócios - Defesa de Interesses	- Aperfeiçoamento Profissional - Unidades móveis SENAI - Institutos de Tecnologia e Inovação Firjan SENAI - Projetos de Pesquisa Aplicada	- Gestão Integrada da Saúde Corporativa (Plataforma SESI Viva+) - Check-up para Executivos - Consultoria Estratégica em SST	- Workshops para integração dos ODS na estratégia de Negócios - Consultoria para desenvolvimento de lideranças

A FIRJAN TEM A SOLUÇÃO IDEAL PARA A SUA EMPRESA!
SAIBA COMO PODEMOS APOIAR



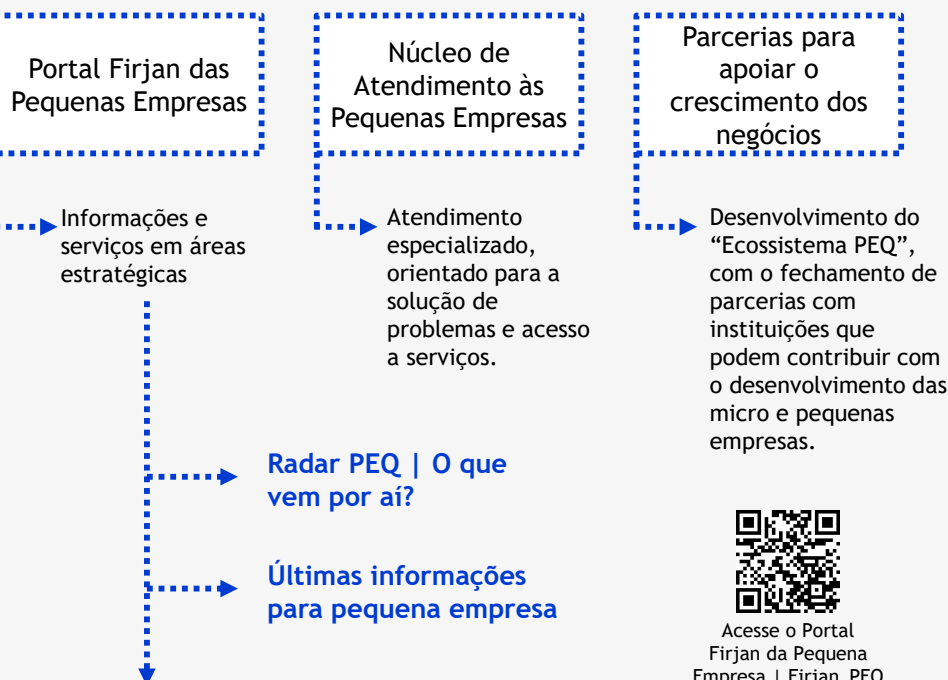


Firjan PEQ

O que é?

A Firjan_PEQ é uma plataforma especializada para as pequenas empresas do Rio de Janeiro, onde o empreendedor que já possui um negócio ou está começando um novo desafio tem contato direto com um núcleo de atendimento exclusivo composto por técnicos e especialistas da Firjan e conhece produtos e serviços especialmente modelados para as MPEs.

Pilares do Programa



O que a Firjan pode fazer pela sua empresa



DADOS E INFORMAÇÕES



Publicação:
Perspectivas do Gás Natural no Rio



Painel Dinâmico:
Perspectivas do Gás Natural no Rio



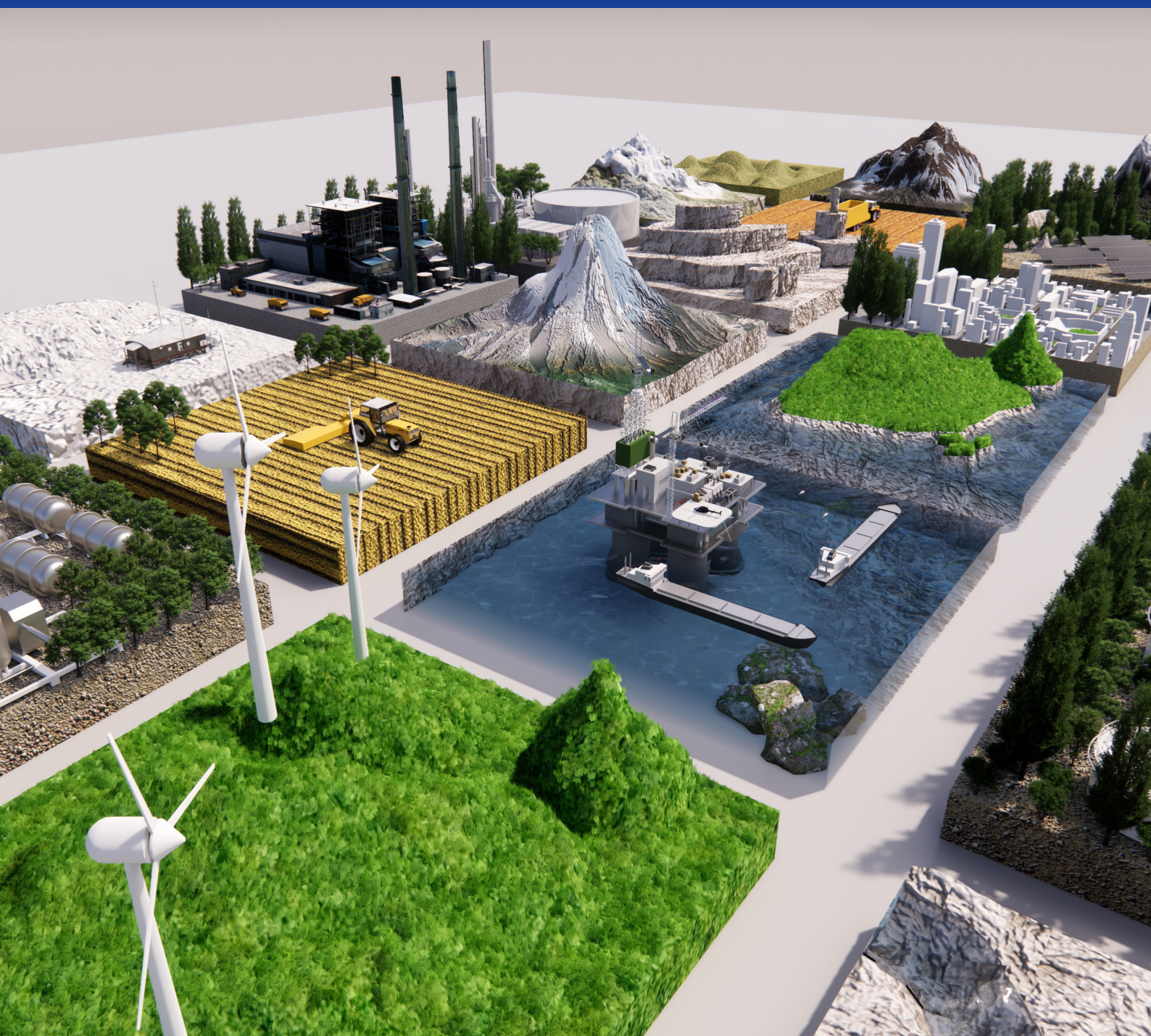
Institutos SENAI:
Tecnologia e Inovação

SERVIÇOS





A Jornada pela Transição Energética: Reflexões sob a Ótica da Regulação e Planejamento



A visão da ANEEL para a transição energética

Elaborado por ANEEL

As mudanças climáticas são consequência direta do aumento das emissões de GEE. Desde a Revolução Industrial, a concentração de CO₂ na atmosfera vem crescendo de forma exponencial, um fenômeno amplamente reconhecido pela comunidade científica. Mesmo elevações sutis na temperatura média global têm potencial para desestabilizar o equilíbrio do sistema climático da Terra, intensificando a frequência e a intensidade de eventos extremos, como secas prolongadas, ondas de calor, tempestades severas e ciclones tropicais.

Para o setor energético, as mudanças climáticas impõem duas implicações principais. A primeira é a **necessidade de criar ou adaptar sistemas para torná-los mais resilientes às mudanças climáticas**. Para o setor elétrico, isso inclui lidar com alterações nos padrões de geração de fontes renováveis, impactos na infraestrutura devido a tempestades, precipitações e ventos mais intensos limitações na capacidade de transferência de energia. Por sua vez, a segunda implicação está relacionada à **necessidade de transformar o setor energético, promovendo uma transição para uma configuração que reduza as emissões de GEE**.

Nesse contexto, a **transição energética** é definida no Brasil como o processo de transformação da infraestrutura, da produção e do consumo de energia pelos diferentes setores, visando contribuir para a neutralidade das emissões líquidas de GEE do país (CNPE, 2024). Esse processo não se limita à substituição de combustíveis fósseis por renováveis; envolve a adoção de um novo paradigma de gestão energética, com destaque para a digitalização, o armazenamento de energia e o uso de tecnologias que ampliam a eficiência e a resiliência dos sistemas.

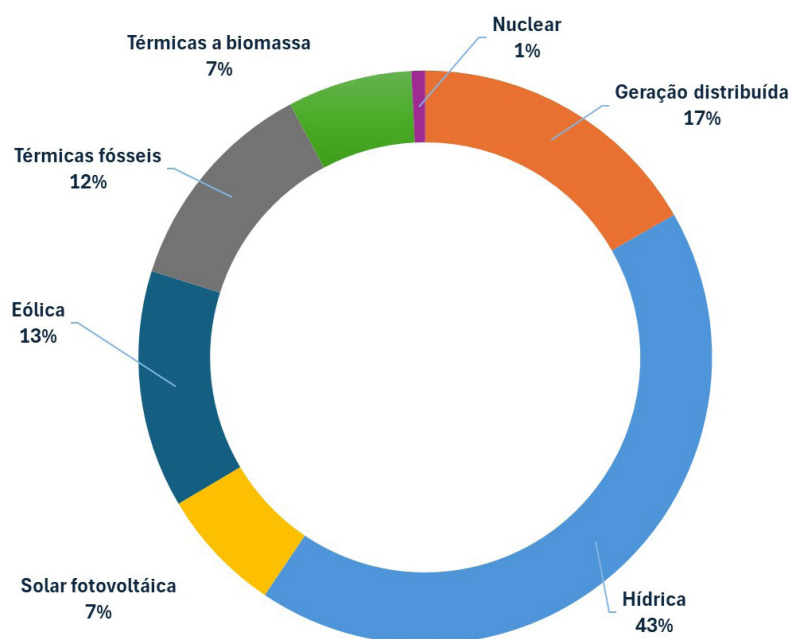
O setor elétrico globalmente é **protagonista no processo de descarbonização**, devido à sua capacidade de incorporar fontes renováveis e, por meio da eletrificação das economias, reduzir o consumo de combustíveis fósseis em outros setores, como transporte e indústria.

O relatório de 2021 da IEA destaca sete pilares fundamentais para alcançar a neutralidade climática até 2050: 1. Eficiência energética; 2. Mudança comportamental; 3. Eletrificação; 4. Expansão de renováveis; 5. Hidrogênio e combustíveis derivados; 6. Bioenergia sustentável; 7. Captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS).

Entre os pilares listados, a eletrificação é uma das tendências mais marcantes da transição energética. Também segundo a IEA (2025), a demanda global por eletricidade crescerá cerca de 4% ao ano até 2027, puxada por três grandes fatores: eletrificação de transportes e edificações; expansão de data centers; e crescimento da produção industrial intensiva em energia. No Brasil, essa tendência é potencializada pela alta participação de renováveis na matriz elétrica, permitindo que a expansão da demanda ocorra com menor intensidade de emissões, reforçando o papel estratégico do setor elétrico na descarbonização.

No Brasil, o *Balanço Energético Nacional (BEN) 2025 da EPE* aponta que, em 2024, aproximadamente 88% de toda a eletricidade gerada no país teve origem em **fontes renováveis**, um índice extraordinariamente superior à média global, que em 2022 alcançou apenas **30%**. Desde 2004, a participação das fontes limpas na matriz elétrica brasileira mantém-se consistentemente acima de **70%**, um patamar elevado que demonstra um **processo de transição energética sólido e de longa duração**, consolidando o Brasil como uma referência internacional em sustentabilidade energética.

Figura 3: Diversidade das fontes de energia elétrica na matriz elétrica brasileira (potência instalada)



Fonte: Elaboração própria. Dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL – setembro 2025

Esse elevado grau de renovabilidade impulsiona o chamado **powershoring**, fenômeno em que atividades industriais intensivas em energia migram para regiões que oferecem **energia elétrica limpa, acessível e confiável**. Com uma matriz elétrica majoritariamente renovável e uma expressiva disponibilidade de **minerais estratégicos para a transição energética**, o Brasil encontra-se em uma posição privilegiada para **atrair investimentos e fomentar o desenvolvimento industrial sustentável**. Ainda assim, o país se depara com **desafios estruturais** que não podem ser negligenciados, como o crescimento acelerado da demanda por eletricidade, a necessidade de maior **flexibilidade no sistema elétrico** para acomodar fontes renováveis variáveis, como a **eólica e a solar**, além dos **efeitos que as mudanças climáticas** exercem sobre as fontes renováveis. Soma-se a isso o impacto de **eventos climáticos extremos**, que testam a resiliência da infraestrutura energética e reforçam a urgência de **investimentos em inovação, modernização e robustez do sistema**.

Diante desses desafios, **agências reguladoras desempenham um papel estratégico**. Elas precisam identificar as relações e os impactos da regulação na transição energética e no enfrentamento das mudanças climáticas, atuando de forma integrada, criando regulamentos que retiram barreiras para modernizar o setor, estimular investimentos e garantir segurança, confiabilidade e justiça na transição. Isso inclui a remoção de barreiras regulatórias para tecnologias modernas, o ajuste de tarifas e a criação de incentivos econômicos para a expansão e modernização do sistema, além de garantir que a transição seja justa e inclusiva para toda a sociedade. Essa foi, inclusive, a principal mensagem da última conferência do *World Forum on Energy Regulation* (WFER) realizada em Lima, no Peru, em 2023, em que reguladores de energia do mundo inteiro debateram seu papel na descarbonização da economia global, transcendendo as questões regulatórias setoriais e nacionais. A ANEEL é o órgão regulador responsável por regular e fiscalizar a geração, transmissão, distribuição e comer-

cialização de energia elétrica no Brasil. Na transição energética, a ANEEL atua promovendo inovação regulatória e removendo barreiras, com vistas a propiciar a eletrificação da economia e a expansão de tecnologias de baixa emissão de GEE, preservando a segurança e confiabilidade ao sistema elétrico com justiça tarifária. Se a matriz elétrica do Brasil passou por um processo de transição para uma configuração com baixa emissão de GEE, o setor elétrico precisa transformar sua infraestrutura para atender aos anseios de uma sociedade cada vez mais digital, que demanda por serviços energéticos seguros e confiáveis e exige que práticas de sustentabilidade sejam adotadas pelas empresas do setor. Nesse contexto, a Agenda Regulatória da ANEEL contém uma série de atividades essenciais para a promoção da transição energética que a sociedade almeja, como a regulamentação de sistemas de armazenamento de energia, a modernização das tarifas de energia elétrica e a promoção da resiliência das redes de transmissão e de distribuição.

Por sua vez, mesmo sendo uma agência de regulação do setor elétrico, o Objetivo Estratégico número 1 (OE1) de seu Planejamento Estratégico já direciona esforços para que a atividade regulatória atue para a transição energética com alocação justa de seus efeitos e com responsabilidade social. Isso porque a ANEEL tem o propósito de garantir acesso universal à energia a preços justos e acessíveis. Para isso, o processo da transição energética deve considerar os impactos sobre os consumidores mais vulneráveis, de forma a assegurar que os benefícios da transição sejam amplamente compartilhados com redução de desigualdades sociais, regionais e econômicas.

Nesse contexto, a ANEEL vem trabalhando para modernizar as tarifas de energia elétrica e para comunicar melhor o que justifica o valor da conta de luz que chega às casas brasileiras. No campo da comunicação com a sociedade, uma importante ferramenta de transparência é o "Subsidiômetro", que mostra, em tempo real, o montante total em que os consumidores de energia elétrica estão financiando, via tarifa, as políticas públicas setoriais, com previsão legal, principalmente aquelas custeadas pela CDE.

Por entender que é uma jornada complexa, que exige integração entre políticas públicas, inovação tecnológica e regulação eficiente, a ANEEL vem discutindo com a sociedade como incorporar em seus processos medidas e ações para o enfrentamento das mudanças climáticas e para a promoção da transição energética, por meio da elaboração do Guia Prático sobre Mudanças Climáticas, Transição Energética e Regulação.

Entre os conceitos que são abordados no Guia, consta a necessidade de considerar especificidades locais no processo de transição energética. No caso do estado do Rio de Janeiro, a matriz elétrica é caracterizada por uma forte presença de usinas termelétricas a gás e de energia nuclear, podendo ser complementada por um crescente potencial de geração eólica *offshore* e solar, e para a produção de hidrogênio.

A ANEEL reconhece a relevância do estado do Rio de Janeiro como polo estratégico da transição energética no Brasil. O regulador brasileiro contribui por meio da regulação moderna, fomento à inovação e pesquisa, educação pública e supervisão rigorosa, equilibrando expansão segura com sustentabilidade climática. A entrada em operação da usina GNA II, com potencial para uso de hidrogênio, demonstra o potencial de nossa capacidade de apoiar soluções tecnológicas inovadoras e pioneiras.

Nesse sentido, cumpre lembrar que a ANEEL desempenha papel central na promoção da inovação no setor elétrico por meio do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PROPDI). O objetivo desse programa é estimular e orientar as empresas de energia elétrica a investirem, com base em determinação legal, parte de sua receita em projetos de PDI voltados ao avanço tecnológico, eficiência e sustentabilidade do setor.

No estado do Rio de Janeiro, a Petrobras realizou projetos estratégicos voltados à geração eólica *offshore*, às energias marinhas, ao uso do hidrogênio e à eficiência de processos em termelétricas, com investimentos superiores a R\$ 30 milhões. Por sua vez, a Enel Rio de Janeiro vem conduzindo projetos de redes inteligentes e integração de geração distribuída, com custos previstos em mais de R\$ 50 milhões. Furnas investiu tanto em inovação em linhas de transmissão quanto em fontes

renováveis com valores superiores a R\$ 70 milhões. Na cidade do Rio de Janeiro, a Light Distribuição desenvolveu inspeção robotizada de linhas e transformadores blindados, com custos na ordem de dezenas de milhões de Reais. O **Trafo Blindado** trouxe maior resiliência às redes urbanas ao reduzir danos causados por impactos externos, com comunicação integrada a redes inteligentes. O **SmartReader**, baseado em inteligência artificial, permite a leitura remota e análise de medidores, aumentando eficiência no faturamento. Já o **Robô de Inspeção de Linhas Aéreas** realiza inspeções em tempo real, reduzindo custos e aumentando a segurança da operação. Os projetos demonstram que o PROPDi gera inovações reais já aplicadas no cotidiano do Rio de Janeiro, com ganhos em confiabilidade, qualidade e redução de perdas na energia elétrica.

A transição energética no Brasil é um processo essencial diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda por eletricidade em uma sociedade cada vez mais digitalizada e sustentável. Nesse cenário, a atuação da ANEEL como reguladora é importante para equilibrar inovação tecnológica, segu-

rança do suprimento e equidade energética e sustentabilidade, criando um ambiente regulatório capaz de estimular investimentos e promover eficiência em toda a cadeia do setor elétrico.

Os exemplos de iniciativas desenvolvidas no estado do Rio de Janeiro — envolvendo agentes de geração, transmissão e distribuição — evidenciam que uma regulação moderna, combinada com pesquisa, desenvolvimento e inovação, já está trazendo resultados concretos para a sociedade. O fortalecimento dessa agenda, por meio de instrumentos como a Agenda Regulatória, o Guia Prático sobre Mudanças Climáticas, Transição Energética e Regulação e o PROPDi, consolida a visão de que a transição energética deve ser conduzida de forma inclusiva, transversal, transparente e colaborativa. Assim, a ANEEL reafirma seu compromisso em contribuir com esse movimento, garantindo que o Brasil mantenha sua posição de destaque mundial em sustentabilidade energética, ao mesmo tempo em que assegura o acesso universal à energia limpa, segura e a preços justos para todos os cidadãos.



A comercialização de energia sob a ótica da transição e integração energética: desafios e oportunidades

Elaborado por CCEE

26

A transição energética global já não é mais uma ambição futura, mas uma realidade. O mundo está enfrentando as consequências das mudanças climáticas em ritmo acelerado, e o setor da energia precisa ocupar uma posição central no debate, se realmente temos a intenção de evoluir para uma economia de baixo carbono. Precisamos avançar rumo a um modelo que reúna sustentabilidade, competitividade, segurança e acima de tudo acessibilidade e empoderamento dos consumidores. No Brasil, esse movimento assume características peculiares, mas com certa posição de vantagem. Nosso país possui uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo, com mais de **90% da geração proveniente de fontes renováveis**, e esse diferencial, somado à consolidação de um mercado robusto e uma jornada rumo à ampliação do nosso ambiente de contratação livre, coloca o país em uma posição de protagonismo na construção de um futuro mais sustentável para todos. Essa conquista não ocorreu de forma espontânea. Ela é fruto, além de nossas características geográficas, de décadas de políticas públicas consistentes, aprimoramentos regulatórios e investimento em infraestrutura. No início dos anos 2000, mais de 90% da energia do país era gerada por hidrelétricas. Embora isso fosse excelente do ponto de vista das emissões, trazia preocupações relacionadas à segurança no fornecimento, devido à dependência de regimes pluviométricos. No entanto, nos últimos 25 anos, o país diversificou sua matriz, introduzindo novas fontes e expandindo a participação da eólica, solar e biomassa. Atualmente, temos mais de 187 GW de capacidade instalada de fontes limpas – o que é oito vezes a potência da maior usina hidrelétrica do mundo, a Três Gargantas, localizada na China. O progresso é visível: a produção média tanto de parques eólicos quanto solares aumentou em 19,8% e 24,9%, respectivamente, somente em 2025, o que significa que

a transição não é um discurso, mas uma realidade. Entretanto, não podemos nos esquecer da importância das outras fontes no contexto da segurança energética. Este histórico está diretamente ligado ao desenvolvimento do mercado livre de energia, em que os consumidores podem escolher seu próprio fornecedor, negociar abastecimento sob demanda, definir prazos e condições mais adequadas às suas necessidades, podendo alcançar uma economia de até 35%, segundo estimativas do segmento. E o mais interessante: pode optar pelo tipo de fonte que quer contratar. Tem o poder nas mãos para comprar somente eletricidade de usinas renováveis, reforçando suas metas e desejos de descarbonização.

Países como Reino Unido, Alemanha, Chile e diversos estados americanos já implementaram práticas similares que permitem os mesmos benefícios aos consumidores residenciais e de pequeno porte. No Brasil, há trinta anos, quando iniciamos a abertura do mercado, era difícil imaginar o quanto ele se expandiria. O processo avançou gradualmente, a partir dos anos 1990, e ganhou consistência com a criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), responsável por operar o mercado e garantir segurança, previsibilidade e transparência às negociações. Hoje, existem **mais de 80 mil unidades consumidoras no mercado livre**, o que representa mais da metade de toda a carga nacional total. E esse número segue crescendo exponencialmente.

Isso se deve, especialmente, a avanços regulatórios que previram a abertura gradual do mercado e permitiram, a partir do início de 2024, que o segmento deixasse de ser exclusivo para grandes indústrias e grupos empresariais, passando a ser uma opção também a pequenas e médias empresas – incluindo padarias, supermercados, farmácias, açougues e todas as outras conectadas em

alta tensão. Com isso, somente no período de **janeiro a agosto de 2025, a CCEE migrou, de forma simples, rápida, transparente e segura, 16,9 mil novos consumidores**, que agora podem personalizar seu atendimento e buscar uma operação mais eficiente e limpa. As vantagens são evidentes e servem de farol, apondo-nos o que está por vir. Além de ser um importante instrumento para redução de custos, atração de investimentos, inovação e desenvolvimento tecnológico, o mercado livre é um importante motor para a transição energética, estimulando a competição dentro do setor elétrico e abrindo oportunidades para que os agentes possam se dedicar ao desenvolvimento de novos produtos e serviços para seus clientes. Paralelamente, o empoderamento dos consumidores vem abrindo portas para que haja um alinhamento maior do suprimento energético à agenda verde do Brasil, um movimento que automaticamente cria condições para o equilíbrio da oferta e da demanda e para que novos empreendimentos de geração renovável sejam viabilizados. É neste espaço dinâmico, com o consumidor no centro do negócio, que o caminho está sendo pavimentado para o próximo importante e mais aguardado passo: a abertura completa do mercado de energia, abrangendo todos os consumidores conectados em baixa tensão, como previsto, inicialmente, na **Medida Provisória nº 1.300/2025**, publicada neste ano pelo MME. A MP definiu regras de governança para que esse processo ocorra de forma organizada, previsível e transparente. E a discussão não se limitou a esta medida, se estendendo às **MPs 1.304/2025 e 1.307/2025**, que ampliaram o escopo do debate, abordando pontos relevantes sobre a sustentabilidade da CDE, um fundo setorial brasileiro criado para financiar políticas públicas do setor; o incentivo a pequenas centrais hidrelétricas; e a inserção do gás natural em regiões estratégicas e mecanismos de valorização das renováveis. São instrumentos que não apenas reforçam a agenda da abertura de mercado livre, como também conectam a liberalização do setor a uma estratégia energética mais ampla, voltada para a diversificação e segurança no fornecimento. Como não poderia deixar de ser, as mudanças estão ocorrendo com ampla participação da sociedade. Nesse ponto, é importante citar a **Consulta Pública nº 196/2025**, do MME, que trata da regulamentação da

abertura do mercado de energia elétrica para todos os consumidores brasileiros, incluindo os residenciais. A consulta em questão também discute prazos de retorno ao mercado regulado, requisitos de medição, garantias contratuais, digitalização de procedimentos e campanhas de conscientização para reduzir a assimetria da informação entre consumidores. A discussão recebeu contribuições de associações, empresas, reguladores e organizações da sociedade civil, o que reflete a relevância do tema para todos os elos do setor.

Ao mesmo tempo em que esse mecanismo está sendo implementado, a CCEE, em estreita colaboração com a ANEEL, está trabalhando para simplificar as operações do mercado e criar ferramentas que facilitem a migração e a gestão da informação, para proporcionar uma experiência simples, rápida e segura a todos os novos consumidores, sem custos adicionais. E podemos afirmar que estamos completamente prontos para essa nova fase. Assumiremos responsabilidades adicionais no acompanhamento em tempo real do consumo, garantindo que esta dinâmica de abertura seja sustentada por informações acessíveis, padronizadas e transparentes. Estamos investindo em segurança, modernização tecnológica, automatizando processos e ampliando a nossa capacidade para comportar um volume exponencialmente maior de dados e transações.

Estimamos um potencial de mais de 90 milhões de unidades consumidoras com a chegada da baixa tensão, considerando residências, pequenos negócios e estabelecimentos comerciais que, pela primeira vez, terão o direito de escolher de quem comprar eletricidade. Ao mesmo tempo, via nossa mais recente iniciativa, a CCEE Academy, estamos ampliando a nossa atuação na área de desenvolvimento e capacitação, criando um verdadeiro *hub* de conhecimento, com projetos, cursos e materiais educativos que possibilitam que profissionais e consumidores entendam o setor elétrico, o mercado livre, os avanços setoriais e as oportunidades a serem exploradas.

Estamos diante de um marco estrutural sem precedentes no setor elétrico brasileiro, que democratiza benefícios e abre caminho para novos negócios, desde tecnologias para armazenamento e redes inteligentes até a crescente eletrificação de setores estratégicos da economia nacional, como o automotivo, assim como

ações para, efetivamente, garantir e valorizar os atributos de sustentabilidade desta integração energética. Um importante exemplo é a Plataforma Brasileira para Certificação de Energia Renovável, desenvolvida pela CCEE e lançada em 2024, para assegurar que a origem da energia utilizada para a criação dos ativos é, de fato, renovável, garantindo a integralidade dos seus atributos ambientais. A plataforma verifica a inexistência de dupla contagem (ou seja, o uso de um mesmo montante de energia para a emissão de mais de um certificado), assegurando a credibilidade e rastreabilidade das certificações. Em menos de um ano de operação, todos os emissores nacionais já estão integrados à solução, estabelecendo um padrão de confiança e transparência que fortalece a imagem do Brasil como referência global em energia limpa e atrai investidores.

É evidente, contudo, que o momento pelo qual estamos passando, com avanços de tamanha magnitude, precisa ser conduzido com responsabilidade e equilíbrio. Além de previsível e sustentável, a abertura do mercado deve garantir justiça tarifária, preservar a saúde financeira das distribuidoras e assegurar que nenhum consumidor seja prejudicado por permanecer no ambiente regulado. E nós temos capacidade técnica e expertise para fazer isso acontecer.

O trabalho que a CCEE tem realizado, em conjunto com MME, ANEEL, agentes associados e Congresso Nacional, tem se mostrado um importante instrumento para concretizar ações estruturais para trazer estabilidade, reduzir riscos e proteger os consumidores. Um exemplo disso é o sucesso do mecanismo concorrencial para redução do passivo do GSF, realizado no último mês de agosto e que nos aproximou da solução de um

dos maiores desafios já enfrentados pelo setor elétrico brasileiro. E o mesmo espírito deve nortear a implementação das medidas provisórias em curso, bem como a regulamentação decorrente da Consulta Pública 196.

Os desafios permanecem expressivos: lidar com a variabilidade das fontes intermitentes, aprimorar o planejamento da transmissão, modernizar os modelos de precificação e garantir a confiança de investidores e consumidores. Mas as oportunidades são ainda maiores e inquestionáveis. O Brasil já mostrou que é capaz de transformar sua matriz elétrica em menos de três décadas, tornando-se referência mundial. Agora, tem condições de liderar um processo ainda mais ambicioso, em que energia limpa, inovação tecnológica, equidade e justiça caminham lado a lado.

Vivemos, portanto, um momento histórico. O país pode consolidar-se como protagonista da transição energética global, combinando matriz renovável, abertura total do mercado e fortalecimento institucional. E o sucesso dessa trajetória requer, sem dúvida, um ambiente de cooperação. Toda a governança do setor, incluindo MME e ANEEL, EPE, ONS, associações setoriais, investidores e consumidores precisa continuar trabalhando em conjunto, para seguir construindo um setor cada vez mais eficiente, justo e competitivo. A CCEE, por sua vez, seguirá cumprindo sua missão com rigor técnico, independência e visão de futuro, desenvolvendo mercados de energia inovadores, eficientes e sustentáveis em benefício da sociedade.

Estamos prontos. O próximo capítulo da história do mercado elétrico brasileiro será escrito com mais liberdade, mais renovabilidade e mais poder para todos os consumidores.

Rotas tecnológicas e o papel dos ganhos de eficiência na transição energética

Elaborado por EPE

Introdução: transição energética, mudanças climáticas e sustentabilidade

Transições energéticas são, antes de tudo, processos históricos. O mundo já passou por transformações profundas – da biomassa para o carvão, e do carvão para o petróleo –, todas caracterizadas por serem processos longos, graduais e não lineares, moldados por fatores econômicos, sociais e tecnológicos.

A transição em curso, contudo, apresenta características inéditas. Diferentemente das anteriores, ela é movida não apenas por avanços tecnológicos ou mudanças na disponibilidade de recursos, mas sobretudo pela necessidade urgente de enfrentar a crise climática. As mudanças climáticas globais adicionam um senso de urgência que não existia nas transições passadas e colocam no centro do debate a questão da sustentabilidade em sua dimensão econômica, social e ambiental. Isso cria uma dinâmica inédita: é preciso acelerar a descarbonização em escala global, reduzir vulnerabilidades a eventos climáticos extremos e, ao mesmo tempo, garantir inclusão social e segurança energética.

O desafio, portanto, é equilibrar desenvolvimento, competitividade e redução das desigualdades com a descarbonização da matriz energética. O conceito de responsabilidade comum, mas diferenciada, consagrado desde a Rio-92, continua atual: todos os países precisam avançar, mas em ritmos compatíveis com suas realidades. Para o Brasil, isso significa aproveitar vantagens comparativas, como a elevada participação de renováveis na matriz elétrica, a longa tradição no uso de biocombustíveis e o potencial em novas fontes

de energia, ao mesmo tempo em que será necessário enfrentar desafios relevantes, em especial a redução das emissões na indústria e nos transportes.

O futuro, nesse cenário, é incerto. Não existe um único caminho traçado, mas múltiplas possibilidades que dependerão da qualidade das decisões tomadas hoje – em políticas públicas, inovação tecnológica e investimentos. Nesse contexto, a eficiência energética se apresenta como eixo estratégico. Como destacou o Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 (PDE 2034), os ganhos de eficiência reduzem custos, aumentam a segurança energética e ajudam a compatibilizar crescimento econômico com sustentabilidade. Em outras palavras, eficiência é o “primeiro combustível” da transição, capaz de entregar resultados imediatos enquanto novas tecnologias amadurecem.

A reflexão proposta pela Jornada Firjan pela Transição Energética é, portanto, estratégica: inserir o Rio de Janeiro e o Brasil em um debate que vai além da gestão conjuntural de energia, posicionando o setor como vetor de desenvolvimento sustentável, inovação e competitividade global. O estado do Rio de Janeiro, como polo de energia e indústria, reúne tanto os maiores desafios quanto as maiores oportunidades para impulsionar a integração entre diferentes fontes, setores e políticas públicas, consolidando sua posição estratégica na transição energética brasileira – e reforçando o papel do país como protagonista no esforço mundial de descarbonização.

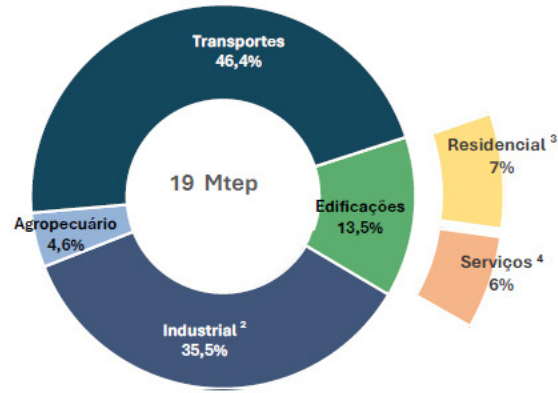
Eficiência como base da transição

A eficiência energética constitui o alicerce de uma transição energética bem-sucedida. Ela não se limita ao consumo final, mas se expressa em ganhos sistêmicos em toda a cadeia: da modernização das hidrelétricas à expansão das fontes renováveis, da maior confiabilidade

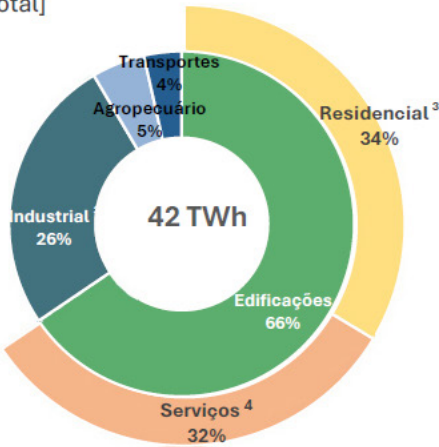
de da transmissão à redução de perdas, até a valorização da micro e minigeração distribuída, da autoprodução e do armazenamento atrás do medidor. Esses elementos reforçam a resiliência do sistema e tornam o consumidor parte ativa da transição.

Figura 4: Importância da Eficiência Energética no cenário decenal

Contribuição setorial para os ganhos de eficiência energética¹ no ano 2034
[% do ganho total]



Contribuição setorial para os ganhos de eficiência elétrica no ano 2034
[% do ganho total]



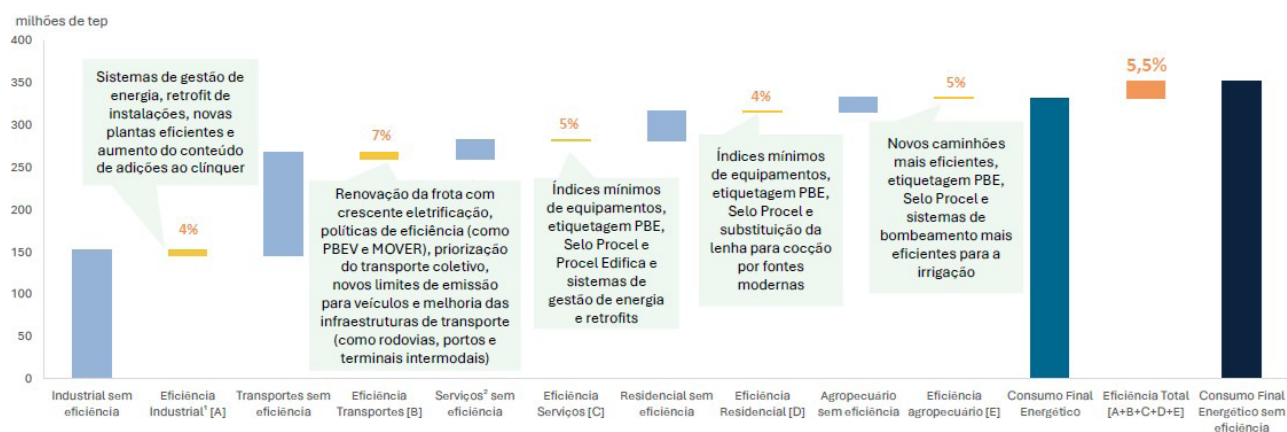
Notas:
(1) Corresponde ao consumo total de eletricidade em todos os setores somado ao consumo de combustíveis nos setores industrial, energético, agropecuário, comercial, público e de transportes.
(2) Inclui o setor energético.
(3) Compreende consumo de energia nos domicílios urbanos e rurais.
(4) Inclui serviços públicos.

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 (PDE 2034)

No uso final, a eficiência se traduz em menor intensidade energética da economia, permitindo que o crescimento do PIB não se converta em aumento proporcional do consumo de energia. Trata-se de uma estratégia

que gera benefícios ambientais, econômicos e sociais de forma imediata, tornando-se uma ponte entre as necessidades de curto prazo e os objetivos de longo prazo da transição.

Figura 5: Contribuição setorial para os ganhos de eficiência energética total (% em cada setor)



Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 (PDE 2034)

Nos transportes, os ganhos de eficiência aparecem na consolidação de biocombustíveis líquidos, na introdução de combustíveis avançados como HVO e SAF e na gradual eletrificação da frota leve. Também são relevantes as melhorias logísticas, com expansão do transporte coletivo, das ferrovias e da cabotagem.

Nas edificações, que devem representar mais da me-

tade do consumo elétrico do país em 2034, o desafio é disseminar padrões construtivos mais eficientes, equipamentos de climatização de baixo consumo e maior uso de energia solar térmica. Embora o impacto de cada residência ou edifício isolado seja pequeno, no agregado nacional a economia é expressiva, sobretudo quando associada a mecanismos de gestão da carga.

Eficiência e indústria: o coração da transição energética

É no setor industrial, contudo, que a eficiência energética revela todo o seu potencial transformador. A indústria responde por cerca de um terço do consumo final de energia e por grande parte das emissões associadas ao uso de combustíveis fósseis. Nesse setor, ganhos de eficiência não significam apenas a redução de custos operacionais, mas também podem redefinir processos produtivos inteiros, abrir espaço para tecnologias inovadoras e criar novos mercados.

O PDE 2034 projeta mudanças significativas na estrutura de consumo industrial, com maior participação da eletricidade e do gás natural e queda relativa do uso de derivados de petróleo. Essa tendência decorre tanto da ascensão de indústrias mais eletrointensivas quanto da modernização de segmentos tradicionais. Os números impressionam: a eficiência elétrica contribui com a redução de 3% do consumo industrial em 2034, ou 11 TWh (montante próximo ao consumo elétrico atual total do

segmento de ferro-ligas, por exemplo), e os ganhos de eficiência energética abatem 7 milhões de tep do consumo potencial da indústria em 2034 (PDE 2034), comparável ao consumo atual do segmento de cimento.

E ainda podemos avançar mais. A combinação entre os mecanismos de eficiência existentes no país como a implementação de políticas incidentes sobre a indústria brasileira, assim como ações autônomas das indústrias, ligadas a aspectos como *retrofit* de instalações, novas unidades industriais, mais modernas e energeticamente (*greenfield*), e ações de gestão de uso de energia, entre outros são algumas das possíveis contribuições da eficiência energética.

Ao longo da próxima década, o setor de cimento, por exemplo, deve ampliar o uso de adições ao clínquer, diminuindo a intensidade de emissões, ao passo que a indústria química substitui tecnologias obsoletas, como as células a mercúrio, por processos mais limpos. Espera-se

que a siderurgia invista em altos-fornos mais eficientes e já se prepare para incorporar combustíveis de menor intensidade de carbono como vetor de descarbonização. Na produção de papel e celulose, a biomassa se consolida como insumo energético central, possibilitando a cogeração e ampliando ganhos sistêmicos. Esses avanços ilustram, ainda, como a eficiência na indústria vai além da economia de energia: trata-se de uma agenda de transformação tecnológica e de competitividade. Empresas que adotam práticas mais eficientes reduzem custos e, ao mesmo tempo, se preparam para atender às exigências de mercados internacionais que vinculam comércio a emissões de carbono. Para o Rio de Janeiro, cuja indústria concentra atividades como siderurgia, petroquímica e papel e celulose, essa é uma oportunidade de liderar a transformação, consolidando o estado como referência em descarbonização industrial. É importante destacar que, para além do planejamento energético de longo prazo, a eficiência também foi reconhecida como pilar no Plano Nacional de Mudança do Clima (Plano Clima), que estrutura a trajetória brasileira rumo à neutralidade até 2050. O Plano Clima destaca a eficiência como um dos caminhos mais custo-efetivos para reduzir emissões, em linha com os princípios da justiça climática e do desenvolvimento sustentável.

No caso do Plano Setorial da Indústria, a eficiência energética aparece entre as ações impactantes mais relevantes, com destaque para as metas de eletrificar processos produtivos, digitalização industrial (Indústria 4.0) e obtenção de ganhos de eficiência energética de 2% até 2030 e entre 4% e 8% até 2035 em relação a 2023. Essas iniciativas reforçam que a eficiência vai muito além da redução de custos: ela é instrumento de competitividade, meio de alinhar a indústria brasileira às exigências internacionais de baixo carbono e condição para uma transição justa, ao evitar que os custos recaiam desproporcionalmente sobre segmentos mais vulneráveis da sociedade. Assim, a eficiência energética é, ao mesmo tempo, uma alavanca estratégica de competitividade e um instrumento fundamental para reduzir desigualdades e garantir uma transição justa. Soluções que impliquem custos desproporcionais ou que excluam consumidores de baixa renda não apenas desaceleram o processo, como também ampliam vulnerabilidades sociais. Essa perspectiva é particularmente relevante no Brasil, onde a transição precisa caminhar em paralelo com a inclusão social. O alinhamento entre inovação, eficiência e justiça social é condição necessária para assegurar que os benefícios da transição sejam amplamente distribuídos e consolidem um caminho sustentável para o desenvolvimento.

Oportunidades para o Rio de Janeiro

O Rio de Janeiro concentra ativos estratégicos que o colocam em posição central na transição energética brasileira. Como maior polo de petróleo e gás do país, com refinarias, termelétricas, portos, centros de pesquisa e um parque industrial diversificado, o estado reúne condições únicas para ser protagonista desse processo. Essa posição não significa apenas desafios de descarbonização, mas também grandes oportunidades de transformação.

O estado pode liderar projetos de descarbonização industrial, modernizando cadeias como siderurgia, petroquímica e papel e celulose. Também possui potencial para se tornar *hub* nacional de hidrogênio de baixo carbono, aproveitando sua infraestrutura de gás natural, seus portos e sua base tecnológica. Projetos de CCUS podem ser desenvolvidos a partir da experiência

acumulada no setor de óleo e gás, criando novas rotas de competitividade para a indústria local. Além disso, o Rio pode integrar de forma mais intensa as fontes renováveis à sua matriz, aproveitando o potencial solar e eólico *onshore* e *offshore* em combinação com a expertise já consolidada em geração eólica no Nordeste e em transmissão em larga escala.

Ao articular sua base industrial e energética com inovação, regulação adequada e políticas públicas consistentes, o Rio de Janeiro pode se tornar um laboratório da transição brasileira, atraindo investimentos, estimulando a inovação tecnológica e gerando empregos de qualidade. Esse protagonismo não apenas reforça a competitividade do estado, mas também projeta sua liderança para o cenário nacional e internacional.



Sistema Brasileiro de Comércio de emissões de Gases de Efeito Estufa - SBCE

O que é o mercado de carbono?

Mecanismos que visa reduzir as emissões de GEE por meio de um sistema de cotas de emissão e mecanismos para que empresas que ultrapassem esses limites possam adquirir permissões de emissão ou créditos de carbono, de modo a compensar suas emissões excedentes.

1 crédito = 1 tCO₂eq

A lei 15.042 sancionada em dezembro de 2024 institui o SBCE - o mercado de carbono brasileiro

Aplica-se a atividades no território nacional que emitem ou possam emitir GEEs. Terá órgão gestor próprio, ligado ao Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima e Comitê Técnico Consultivo Permanente.

Serão sujeitos à regulação os operadores de atividades que emitam: acima de **• 10.000 tCO₂eq/ano** ou acima de **• 25.000 tCO₂eq/ano**

Deverão apresentar em fases:

Plano de monitoramento

Relato de emissões e remoções de GEE

Outras obrigações definidas pelo SBCE

Relato de conciliação periódica de obrigações

Fases de implementação

I em 2025: a edição da regulamentação da Lei 15.042

II em 2026: para operacionalização das empresas dos **relatos de emissões**

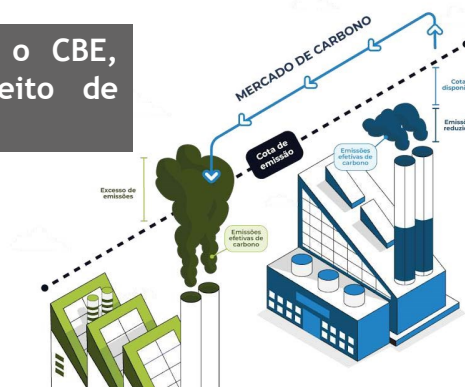
III em 2028: os operadores submetem Plano de Monitoramento e Relato de Emissões

IV e V: primeiro Plano Nacional de Alocação e implementação do SBCE

Serão transicionados os ativos:

Cota Brasileira de Emissões, o CBE, ativo representativo do direito de emissão de 1tCO₂e

Certificado de Redução ou Remoção Verificada de Emissões, o CRVE, ativo representativo de efetiva redução ou remoção de GEE 1tCO₂e





A Jornada pela Transição Energética: Caminhos para a Indústria e a Sociedade



SMRs: A nova fronteira da energia nuclear

Elaborado por ABDAN

A energia nuclear volta a ocupar um papel central no debate energético global. Com baixas emissões de CO₂ e capacidade de fornecer eletricidade de forma contínua, a tecnologia desponta como solução estratégica para a transição energética — especialmente com o avanço dos Pequenos Reatores Modulares, ou SMRs. Segundo dados do PRIS, da AIEA, há atualmente 416 reatores nucleares de potência em operação no mundo, distribuídos por 31 países, com capacidade total de 375 GW(e). Outros 59 estão em construção. A energia nuclear já responde por cerca de 10% da eletricidade

mundial e é a segunda maior fonte de baixo carbono, atrás apenas da hidrelétrica.

A demanda por eletricidade cresce de forma acelerada, impulsionada pelo avanço de tecnologias como a Inteligência Artificial. Gigantes como Microsoft, Amazon e Google veem nos SMRs uma alternativa para garantir energia limpa e estável a seus centros de dados, que operam 24 horas por dia. O apelo está também na possibilidade de instalação próxima a centros urbanos, reduzindo perdas e aumentando a segurança energética.

Mais que eletricidade

Projetados para gerar até 300 MW(e) por unidade — cerca de um terço da capacidade de um reator tradicional —, os SMRs podem ser produzidos e transportados como módulos prontos para montagem. Essa característica reduz custos, encurta prazos e permite aplicações diversas, como dessalinização de água, fornecimento de calor industrial e produção de hidrogênio.

Em países como Estados Unidos, Polônia e Romênia, a tecnologia já é utilizada para substituir usinas a carvão, aproveitando a infraestrutura existente e preservando empregos. Um exemplo é o projeto da TerraPower,

empresa de Bill Gates, que está construindo um SMR a sódio no estado de Wyoming. Estudos apontam que a conversão de plantas a carvão para SMRs pode reduzir em até 30% o custo de implantação.

No Brasil, embora a matriz elétrica seja predominantemente renovável, ainda há cerca de 3 GW de potência instalada a partir do carvão mineral. Segundo estudo técnico da ABDAN, boa parte dessas usinas poderia ser convertida para a tecnologia modular, reduzindo emissões e diversificando a matriz.

Segurança e flexibilidade

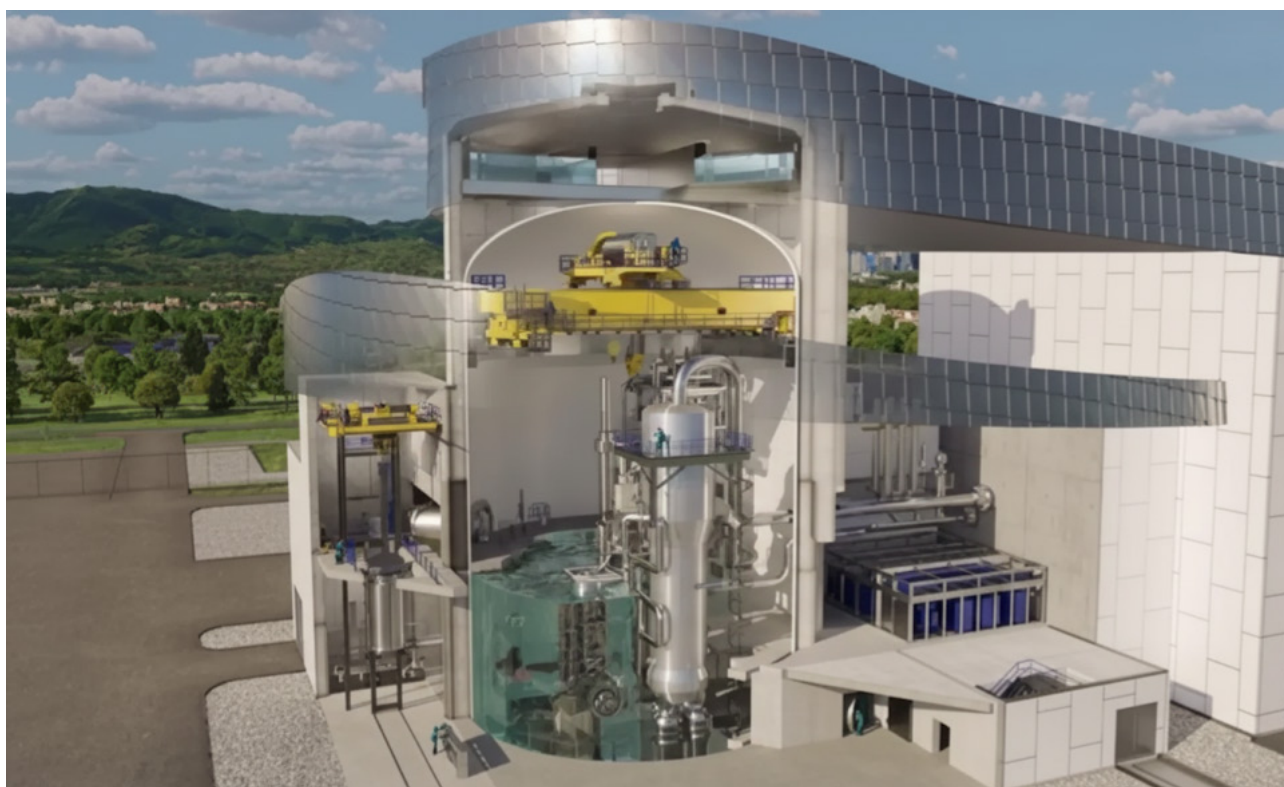
Os SMRs oferecem três vantagens centrais:

- **Flexibilidade de operação:** podem ajustar a potência conforme a demanda e operar em conjunto com fontes renováveis sazonais, como solar e eólica.
- **Segurança intrínseca:** contam com sistemas passivos e inerentes, que reduzem a necessidade de grandes zonas de planejamento de emergência e permitem maior proximidade de centros urbanos.

- **Viabilidade econômica:** embora percam a economia de escala dos grandes reatores, têm menor custo inicial, menor risco financeiro e possibilidade de expansão modular conforme a demanda.

Hoje, a AIEA registra 81 projetos de SMRs em desenvolvimento no mundo, com diferentes aplicações e estágios de maturidade. Para a comunidade nuclear, essa é uma oportunidade de aliar inovação tecnológica, segurança e sustentabilidade, posicionando a energia nuclear como protagonista na transição para uma matriz limpa e estável.

Figura 6: Visão conceitual de um projeto de SMRs integrado à geração elétrica



Fonte: ABDAN

Os desafios da formação e qualificação de mão de obra para o futuro da energia nuclear no Brasil no âmbito da transição energética

Elaborado por ABEN

Introdução

A transição energética global tem colocado em evidência a necessidade de diversificação das matrizes energéticas, com foco em reduzir emissões de carbono, ampliar a segurança do suprimento e integrar novas tecnologias. Nesse cenário, a energia nuclear, em especial os SMRs, emerge como alternativa estratégica para complementar fontes renováveis intermitentes, contribuir para a descarbonização da indústria e fornecer serviços de calor e cogeração para setores críticos.

No entanto, a viabilidade dessa transição depende, de maneira decisiva, da formação e qualificação de recursos humanos especializados. O Brasil, com tradição nuclear consolidada desde a década de 1960, enfrenta o duplo desafio de preservar o conhecimento acumulado e preparar uma nova geração de profissionais capazes de lidar com as inovações tecnológicas e regulatórias da nova era nuclear.

A importância da energia nuclear na transição energética

Segundo estimativas recentes da AIEA, o número de reatores em operação no mundo deverá crescer de 377 GWe em 2025 para entre 514 e 950 GWe em 2050. Os SMRs poderão representar até 153 GWe desse total, destacando-se como solução flexível e escalável para países em desenvolvimento.

Além da geração elétrica, os reatores nucleares oferecem benefícios adicionais:

- Produção de hidrogênio e combustíveis sintéticos;
- Dessalinização de água do mar;

- Fornecimento de calor industrial;
- Apoio a redes elétricas isoladas e aplicações *offshore*.

O Brasil, por sua vez, reúne vantagens comparativas importantes: domínio do ciclo do combustível nuclear, experiência em operação de reatores de pesquisa e potência, e instituições de pesquisa de alto nível. Contudo, para transformar esse potencial em realidade, é necessário investir pesadamente em recursos humanos e conhecimento nuclear.

O desafio da formação de recursos humanos

O desenvolvimento de programas nucleares exige pessoal altamente qualificado em múltiplas áreas, tais como: engenheiros nucleares, especialistas em física de reatores e termohidráulica, físicos, químicos, profissionais de segurança nuclear, economia de energia e comunicação pública. A experiência internacional, compilada pela AIEA, mostra que a implantação de SMRs e novas usinas demanda a criação de um Plano Nacional

de Recursos Humanos que envolva governo, reguladores, universidades, centros de pesquisa e indústria.

Lacunas atuais:

- Envelhecimento do quadro técnico;
- Baixa atratividade entre jovens engenheiros;
- Integração insuficiente com demandas da transição energética.

Experiências e recomendações da AIEA

A AIEA tem enfatizado que a construção de capacidades para programas nucleares deve ser sistêmica, englobando quatro pilares:

1. Educação e Capacitação;
2. Desenvolvimento de Recursos Humanos;
3. Gestão do Conhecimento Nuclear;
4. Redes de Educação e Conhecimento. Entre as recomendações, destacam-se:

- » Atualização de programas de ensino técnico e universitário para incluir tópicos nucleares de última geração;
- » Implementação de programas de transferência de conhecimento para garantir que a expertise acumulada seja preservada;
- » Planejamento nacional de longo prazo, incluindo modelagem quantitativa da necessidade de profissionais;
- » Participação em escolas e programas internacionais de capacitação.

Oportunidades para o Brasil

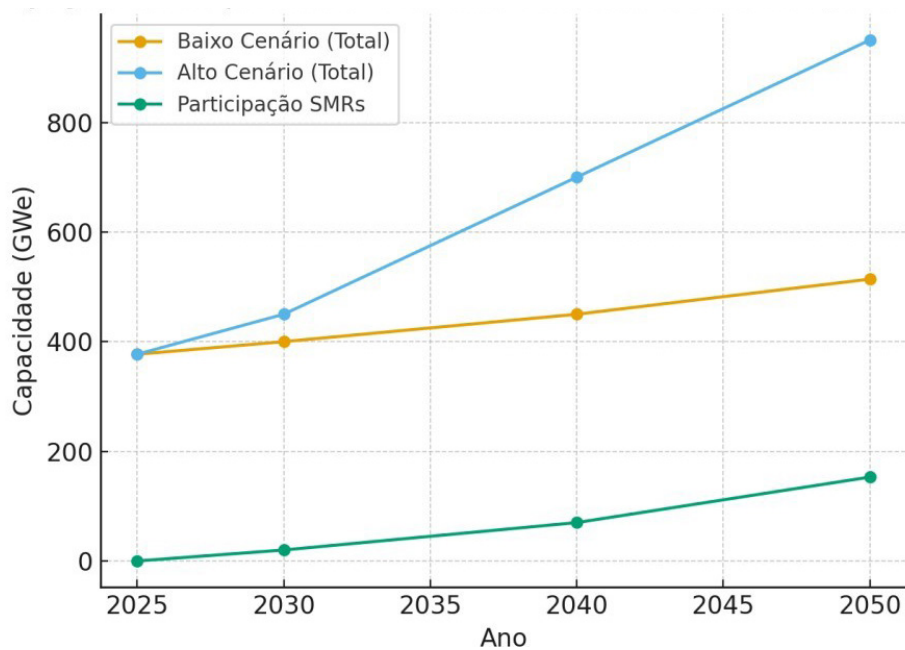
O Brasil já desenvolve projetos de ponta em energia nuclear, que o colocam em posição estratégica no cenário da transição energética. Destacam-se o Programa Nuclear da Marinha do Brasil, com avanços no LABGENE — protótipo em terra do sistema de propulsão nuclear — e no desenvolvimento do submarino nuclear brasileiro; as iniciativas da CNEN, por meio de seus institutos de pesquisa, como o IPEN, o IEN, CDTN e o CRCN-NE, que desenvolvem tecnologias, inovação e capacitação de recursos humanos estratégicos. No campo acadêmico, merece destaque o INCT em Reatores Modulares e Inovadores, promovido pelo CNPq em parceria com CAPES e FAPERJ, que reúne universidades e institutos como UFRJ, UFMG, UESC, UFF, UFRGS, UERJ, IEN, IPEN, entre outros, e cooperação com centros de pesquisa internacionais.

Essa base sólida de pesquisa e inovação cria condições para que o Brasil explore, no contexto da transição energética, oportunidades como:

- Integrar SMRs a polos industriais e portuários, para produção simultânea de energia elétrica e calor;
- Utilizar a energia nuclear para dessalinização, especialmente em regiões semiáridas;
- Aplicar microrreatores em locais isolados, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis.

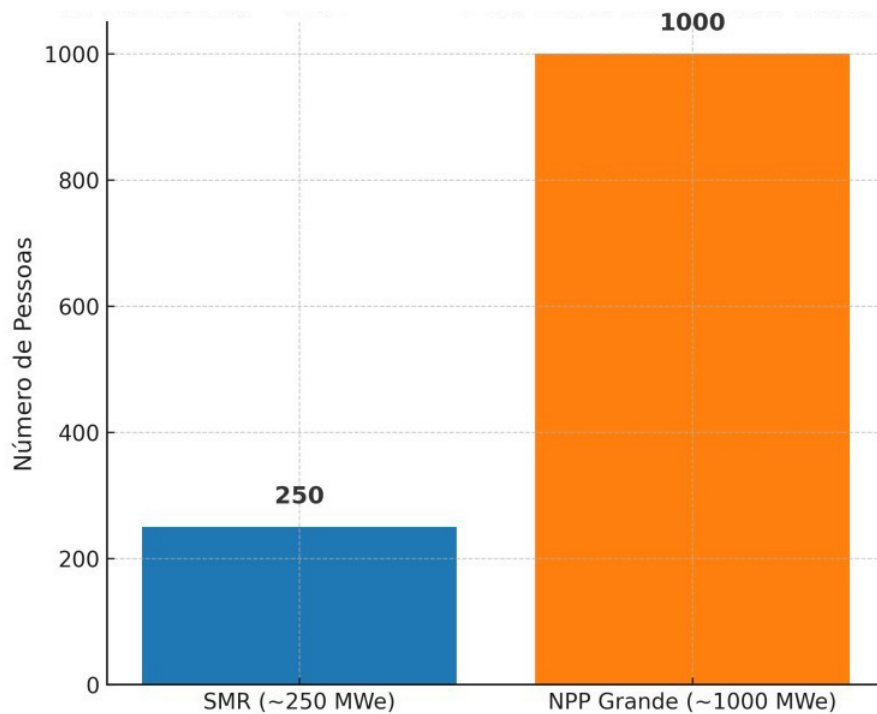
Para essas aplicações, será fundamental a existência de profissionais capacitados em múltiplas áreas, desde engenharia, passando por economia, políticas públicas e comunicação social.

Figura 7: Projeção do crescimento da capacidade nuclear mundial até 2050 (IAEA, 2024)



Fonte: ABEN

Figura 8: Comparação entre necessidade de pessoal para SMRs e usinas nucleares de grande porte (IAEA, 2025)



Fonte: ABEN

Ações prioritárias

Para enfrentar os desafios da formação e qualificação de mão de obra nuclear, recomenda-se:

1. Criação de um Plano Nacional de RH Nuclear;
2. Fortalecimento dos programas de graduação e pós-graduação da área nuclear;
3. Capacitação de reguladores e formuladores de políticas públicas;
4. Estabelecimento e fortalecimento de Centros de Excelência em pesquisas de novas tecnologias;
5. Programas de atração de jovens talentos;
6. Gestão do conhecimento nuclear, com metodologias de captura do saber tácito de especialistas sêniores.

Considerações finais

A transição energética no Brasil não será apenas tecnológica, mas também humana e institucional. Sem a formação de uma nova geração de profissionais altamente qualificados, o país corre o risco de perder competitividade em um setor estratégico para a descarbonização e a segurança energética.

A energia nuclear, ao lado das renováveis, terá papel essencial na construção de um futuro sustentável. Para tanto, é imperativo que a formação, a capacitação e a retenção de mão de obra especializada sejam tratadas como prioridade de Estado, em sintonia com as melhores práticas internacionais e com as necessidades específicas do Brasil.



A contribuição da cogeração para confiabilidade e a resiliência do setor energético

Elaborado por COGEN

Eficiência energética e segurança de abastecimento elétrico, especialmente da cogeração, são atributos que precisam ser cada vez mais valorizados.

Uma reportagem recente do jornal O Globo ("Mercado de data center vive 'boom' com uso da IA", publicada em 03/07/2025), mostra que a indústria de inteligência artificial está impulsionando uma onda de projetos de data centers no país.

E o que isso tem a ver com cogeração?

Essas instalações, turbinadas pelo surgimento de chatbots etc. exigem muita energia para processar, armazenar e distribuir dados. Para funcionar bem, os ambientes onde ficam os computadores precisam de equipamentos de climatização potentes e suprimento de energia elétrica confiável.

Não por acaso, a demanda global de energia deve aumentar acima dos padrões registrados na década passada.

Um relatório do BCG, intitulado "Breaking Barriers to Data Center Growth", projeta que a demanda global por energia para data centers crescerá a uma taxa anual de 16% entre 2023 e 2028.

Essa é uma janela de oportunidades para o Brasil, onde governos de muitas unidades da federação e de prefeituras municipais, inclusive no Rio de Janeiro, veem com bastante interesse a possibilidade de atrair os investimentos nessas infraestruturas tecnológicas, polos capazes de gerar empregos de qualidade e aumentar a arrecadação.

Entre diversos quesitos que são avaliados pelos investidores, um deles é inescapável: é preciso energia segura, confiável e resiliente, que combine ganhos ambientais e segurança energética.

Todos esses são atributos vinculados, por excelência, aos sistemas de cogeração.

41

Explicando o que é cogeração

Trata-se de uma das formas mais inteligentes, estáveis e eficientes de produção de energia.

A cogeração, em resumo, é resultado da produção de dois tipos de energia (elétrica e térmica, com calor ou frio) a partir de uma única fonte – biomassas, gás natural e biogás, por exemplo.

Esse aproveitamento da energia térmica pode produzir aplicações complementares como vapor e água gelada, ou seja, climatização.

Justamente por ser gerada diretamente no centro de consumo, a cogeração evita perdas naturalmente existentes nos processos de transmissão e distribuição, o que é bom para o país. E em caso de intercorrências no SIN, o estabelecimento atendido pela cogeração tem muito mais estabilidade e autonomia.

Historicamente, o Brasil despertou para a cogeração no começo dos anos 2000. Em agosto de 2025, data de produção deste artigo, o segmento já contava com 21,9 GW de capacidade instalada em operação comercial, o que nesse momento representava 10,3% da matriz elétrica nacional (212,7 GW), considerando-se somente a geração centralizada.

Além das usinas sucroenergéticas e de Papel e Celulose, que juntas respondem por 77,1% da cogeração, outros setores industriais relevantes são atendidos: petroquímico, madeireiro, alimentos e bebidas, siderúrgico, saneamento e automobilístico, entre outros.

O mais interessante é que a cogeração permite que cada localidade usufrua de seus benefícios com a fonte energética de sua vocação energética – biomassa de

cana-de-açúcar, no interior paulista; os resíduos da produção de papel e celulose em Três Lagoas, no Mato Grosso do Sul e gás natural na região metropolitana do Rio de Janeiro, apenas como alguns exemplos.

Em uma grande metrópole como a que gravita em torno da capital fluminense, a cogeração a gás natural pode ser extremamente útil.

Primeiramente porque na região metropolitana há uma notável capilarização das redes de distribuição de gás natural das concessionárias CEG e CEG-Rio (resultado de décadas de investimentos das empresas controladas pela Naturgy Brasil), o que viabiliza de antemão um dos fatores básicos para o começo de qualquer projeto – o suprimento.

Em segundo lugar, a existência dessas redes pode ser uma porta de entrada para a injeção de biometano – gás renovável decorrente da purificação de biogás a partir do aproveitamento de resíduos agrossilvipastoris e resíduos sólidos urbanos, em produção crescente e alavancada com a Lei do Combustível do Futuro, a

Lei 14.993/2024, que estabelece o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano.

A produção de biogás e biometano, aliás, pode ser, com escalabilidade, um vetor a mais para despertar o apetite de *data centers* e outros negócios que tenham interesse em combinar a segurança do gás natural com a renovabilidade do biometano. O Rio de Janeiro tem protagonismo nas duas frentes, como um dos maiores produtores de gás natural e de biometano – com destaque para a planta da Gás Verde em Seropédica.

Além disso, os empreendimentos precisam cada vez mais da certeza de fornecimento contínuo, faça chuva ou faça sol, algo que tem sido um problema recorrente no país, diante das nem sempre previsíveis intempéries climáticas – os brasileiros ficaram em média 10 horas e 14 minutos sem energia por conta de interrupções de fornecimento em 2024, segundo a ANEEL. A frequência das interrupções foi de 4,89 quedas por consumidor.

Desafios e oportunidades para a cogeração no Rio de Janeiro

O Rio de Janeiro tem casos pioneiros no uso da cogeração a gás natural em indústrias emblemáticas do setor de bebidas e têxtil, e esse potencial pode ser ainda mais expressivo se o país avançar na competitividade do gás.

Dados divulgados pela EPE, braço de planejamento do MME, revelam que o custo final do gás natural no Brasil poderia cair à metade (de US\$ 16,10 para US\$ 7,67) por milhão de BTU, se fossem eliminados os custos ainda cobrados por investimentos em ativos já depreciados e devidamente remunerados em elos da cadeia como Escoamento e Processamento e Transporte pelos gasodutos.

Para ampliar essa competitividade, a abertura do mercado e a revisão criteriosa desses custos são um anseio da indústria do Rio de Janeiro e de todo o país – que dependem de gás natural para otimizar seus processos produtivos em setores considerados *hard-to-abate*.

Muitos clamam por mais concorrência na oferta – e no Brasil, apesar de alguns progressos, ainda há estados em que o gás distribuído é originado por um único supridor, que tem forte dominância na formação do preço da molécula.

Um bom exemplo de como a abertura do mercado é positiva está no estado da Bahia. Beneficiada pela abundância de oferta de gás *onshore*, a concessionária local conta com mais de dez supridores e fornece um gás a mais ou menos US\$ 11 o milhão de BTU.

Para solucionar esse tipo de questão, a ANP, agora tendo em sua composição dois novos diretores empossados depois de sabatinados e aprovados no Congresso Nacional, tem papel preponderante. A revisão tarifária das transportadoras de gás, com um minucioso exame da base de ativos regulatórios, é um processo que merece muita atenção dos cinco diretores que compõem a ANP.

Também há muita expectativa sobre os leilões da PPSA, cujo cronograma original está atrasado, mas podem ser determinantes para o acesso negociado e não discriminatório às infraestruturas – os custos atualmente praticados de acesso à infraestrutura do Sistema Integrado de Escoamento (SIE) e de Produção (SIP).

Cuidar desses processos com o devido zelo é fundamental para que a indústria brasileira possa investir mais na cogeração, principalmente no Estado do Rio de Janeiro, que teve um significativo crescimento do PIB em 2024, de 3,9%, superando em 0,5 ponto percentual o do PIB nacional, segundo dados do Sistema Firjan.

Valorizar atributos da cogeração a gás é fundamental

Existe considerável potencial para crescimento da cogeração.

Um estudo realizado com 12 segmentos pela Cogen, em parceria com a Promon Engenharia, já em 2018, identificou que o maior potencial para a produção de eletricidade a partir da cogeração a gás natural está nas atividades química, hospitais, shoppings e têxtil, principalmente nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Aproximadamente 5.500 novos empreendimentos poderiam usar essa alternativa de autoprodução de energia, o que triplicaria a cogeração a gás, que permanece estável em 3,2 GW. Essa soma de novos projetos, revela o levantamento, pode chegar a 7,2 GW, o que equivale a meia Itaipu Binacional, terceira maior usina do mundo em capacidade instalada, com 14 GW.

De sua parte, a indústria de cogeração vem fazendo seu papel, investindo em inovação e em aprimorar a eficiência de equipamentos.

Ainda assim, o desenvolvimento de novos projetos mais robustos de cogeração, considerando a grande indústria, tem sido tímido, o que demonstra um quadro que

requer incentivos corretos e políticas públicas adequadas diante de todos os benefícios que essa forma de produzir energia proporciona para matrizes energética e elétrica mais equilibradas, confiáveis e distribuídas. Um dos pleitos da Cogen junto à ANEEL é a precificação dos atributos da cogeração a gás natural, com ganhos de competitividade que poderiam trazer mais racionalidade para o sistema elétrico em vez de investimentos em geração centralizada.

Em Brasília tramitam várias pautas que envolvem o setor energético e, definitivamente, a cogeração a gás precisa ser lembrada, não só pelo custo mais competitivo em comparação ao de usinas termelétricas, mas por sua maior eficiência energética, entre outras externalidades econômicas e ambientais.

É fundamental que tais atributos sejam devidamente valorizados por reguladores e agentes públicos, em benefício de um país que precisa atrair não só data centers, mas reter e estimular negócios que gerem renda e empregos para os brasileiros.

COGEN INFOGRÁFICO

Edição Agosto/2025



Fontes: DataCOGEN, ANEEL, CCEE, EPE, MME e ONS



A COGEN foi constituída para promover o avanço da **Geração Distribuída** no Brasil, com ênfase na **Cogeração de Energia**, atuando na infraestrutura regulatória do setor.

3 vetores balizam a atuação da COGEN: as biomassas, o gás natural e o biogás.

21 Anos

81 associados, que atuam na cadeia da cogeração de energia, incluindo empresas de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica e gás natural; empresas da indústria sucro-energética, fabricantes de equipamentos e materiais; empresas de engenharia, consultoria e eficiência energética; prestadores de serviços; integradores; escritórios de advocacia e usuários de cogeração.



Rua Ferreira de Araújo, 202,
cj.112 Pinheiros
CEP 05428-000
São Paulo/SP

Endereço de E-mail:
cogen@cogen.com

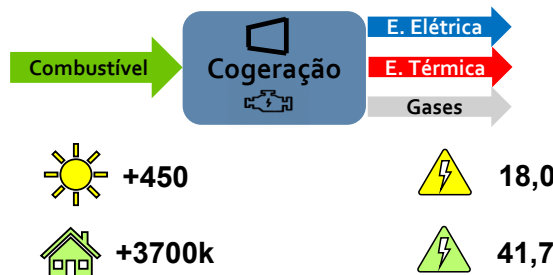
Telefone
(11) 3815-4887

Site
www.cogen.com.br

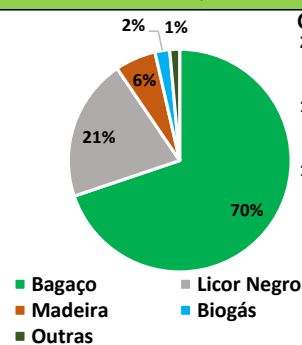
LinkedIn
<https://www.linkedin.com/company/13071801>

Total Cogen – 21,9 GW

Usinas	GW
Biomassas 	529 
Gás Natural 	94 
Biogás 	53 

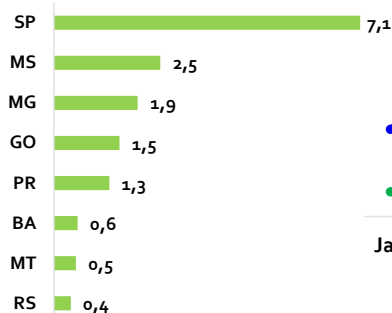


Biomassas – 18,7 GW

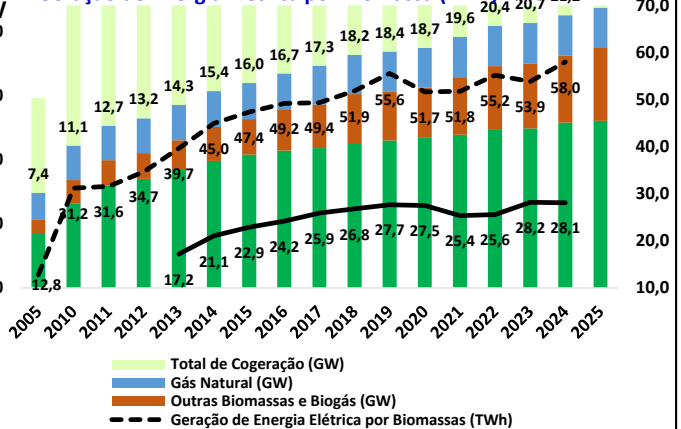


Fontes: ANEEL, CCEE, EPE

Ranking Estadual



Evolução da Capacidade Instalada de Cogeração (GW)



Total de Cogeração (GW)
Gás Natural (GW)
Outras Biomassas e Biogás (GW)
Geração de Energia Elétrica por Biomassas (TWh)

Em 2023 a geração por biomassas poupou 16% dos reservatórios SE/CO

Nível dos Reservatórios SE/CO em 31/07/25:

63,07%

Fonte: ONS

Jan Feb Mar Abr Mai Jun Jul Ago Set Out Nov Dez

Perfil de Geração  Biomassas  Hidro

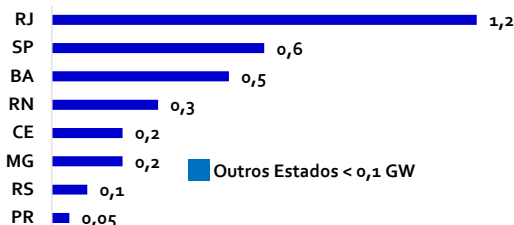
Fonte: COGEN

Gás Natural – 3,2 GW

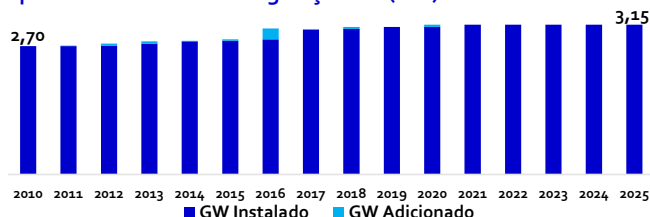
A cogeração por meio do gás natural é ideal para o suprimento de eletricidade, calor e frio, principalmente nos grandes centros metropolitanos.

A alta eficiência, confiabilidade e resiliência da cogeração a GN traz diversas vantagens inerentes a este combustível.

Ranking Estadual



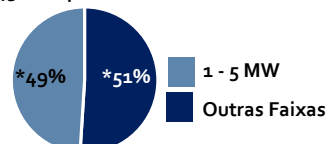
Capacidade Instalada de Cogeração GN (GW)



eBook - Potencial

5.490 Empreendimentos

7,2 GWe
17,9 GWt



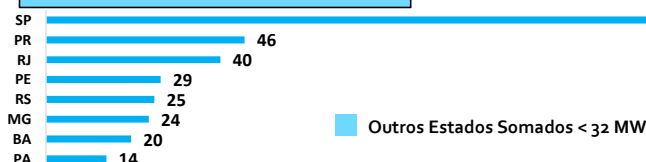
Simulador de Benefícios



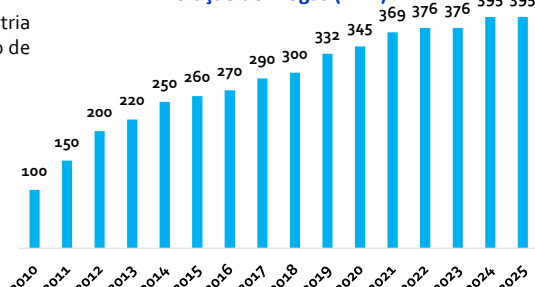
Biogás – 395 MW

O biogás, seja oriundo dos resíduos sólidos urbanos, agrícolas, ou da indústria sucroenergética, possui um enorme potencial, principalmente com o advento de programas como o RenovaBio.

Ranking Estadual



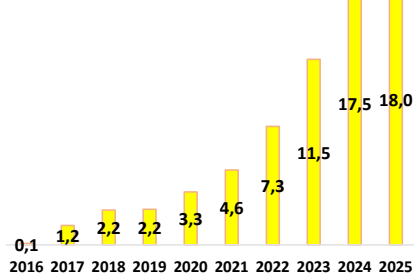
Evolução do Biogás (MW)



Solar Fotovoltaica Centralizada – 18,0 GW

A geração solar fotovoltaica centralizada observa contínuo crescimento desde o início da participação desta fonte em leilões regulados.

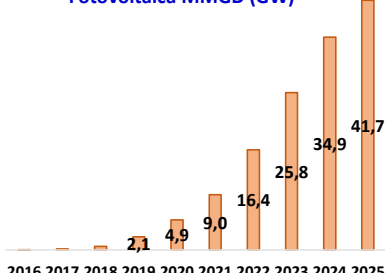
Capacidade Instalada de Energia Solar Fotovoltaica Centralizada (GW)



Solar Fotovoltaica MMGD – 41,7 GW

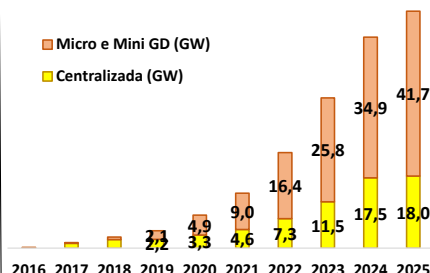
No âmbito da micro e mini geração distribuída, a fonte demonstra protagonismo, perfazendo 98% da MMGD.

Capacidade Instalada de Solar Fotovoltaica MMGD (GW)



Solar Fotovoltaica Centralizada + MMGD: 59,6 GW

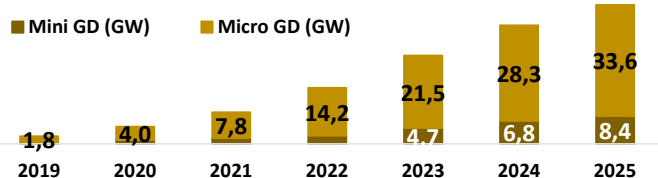
Capacidade Instalada de Solar Fotovoltaica Centralizada + MMGD (GW)



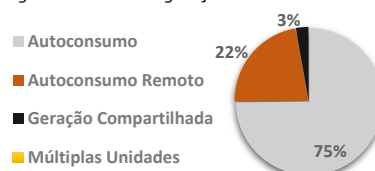
Micro e Minigeração Distribuída: 41,9 GW

Micro <= 75 KW: 33,6 GW
75 KW < Mini <= 5 MW: 8,4 GW

Capacidade Instalada MMGD (GW)



Geração de energia por meio de fontes renováveis ou cogeração qualificada, visando autoconsumo ou compensação de créditos de energia oriundos do excedente exportado para a rede elétrica (netmetering). Regulamentada pela Lei 14.300/2022, o Marco Legal da Micro e Minigeração Distribuída.



Fonte: ANEEL

Fonte: COGEN

O futuro da energia e os impactos na qualidade de vida da sociedade

Elaborado por ENEL

Energia: Pilar de desenvolvimento e cidadania

Em um mundo em transição, nada é mais urgente — e mais promissor — que transformar a forma como produzimos, distribuímos e consumimos energia. O desafio é imenso, mas a oportunidade ainda maior: a transição energética é o caminho não apenas para mitigar as mudanças climáticas, mas para construir uma sociedade mais justa, resiliente e inclusiva.

Energia não é apenas infraestrutura. É o que conecta pessoas a oportunidades, ilumina casas e ideias, impulsiona economias e garante dignidade. Falar de energia, portanto, é falar de qualidade de vida, principalmente em um país como o Brasil, onde a desigualdade de acesso financeiro ainda compromete, em muitos casos, o pleno direito à cidadania.

Ao longo da última década atuando em sustentabilidade no setor elétrico, pude testemunhar o poder transformador da energia quando ela é pensada não como um

fim em si, mas como um meio para desenvolver pessoas, territórios e o futuro.

Para que esse futuro seja possível, é essencial modernizar a infraestrutura que sustenta esse sistema. Redes mais inteligentes, automatizadas e interconectadas tornam-se os pilares fundamentais dessa transformação. Tecnologias como usinas de geração híbridas, equipamentos de telecontrole e automação e inspeções termográficas ampliam a resiliência e a capacidade da rede, preparando-a para integrar novas formas de consumo e maior participação ativa da sociedade.

É nessa combinação entre propósito e inovação que o setor elétrico encontra o caminho para entregar não apenas energia, mas também um serviço de qualidade, apoiar na descarbonização da economia e reduzir as emissões que agravam as mudanças climáticas.

Compromisso do Brasil rumo a neutralidade em 2050

Em 2024, o Brasil submeteu à ONU sua NDC, (*Nationally Determined Contribution*, ou Contribuição Nacionalmente Determinada), estabelecendo a meta de reduzir as emissões de GEE de 59% a 67% em relação a 2005, em todos os setores da economia, reafirmando o compromisso de neutralidade climática até 2050.

No setor de energia, isso significa reduzir a dependência de combustíveis fósseis acelerando a eletrificação dos usos finais, expandindo ainda mais a participação das fontes renováveis, além de avançar em digitalização da rede e uso eficiente de energia. Essas medidas demandam investimentos robustos em redes inteligentes e digitais, capazes de integrar geração distribuída, veículos elétricos, armazenamento e novas formas de consumo energético.

Além da transição da matriz energética, será necessário fortalecer os marcos regulatórios e oferecer sinais econômicos claros para incentivar investimentos privados, com segurança jurídica e estabilidade institucional. Esse ambiente regulatório é fundamental para viabilizar a inovação tecnológica, novos modelos de negócio e soluções digitais que garantam maior confiabilidade e resiliência ao sistema elétrico.

Nesse contexto, o Estado do Rio de Janeiro pode se tornar um modelo nacional capaz de atrair novos investimentos, unindo novas oportunidades à capacidade industrial e uma rede de distribuição em transformação, para demonstrar como políticas públicas, empresas e sociedade podem convergir na construção de um setor energético moderno, inclusivo e alinhado às metas climáticas brasileiras.

Caminhos para a transição energética no Brasil: rotas e oportunidades

O estudo "Caminhos para a Transição Energética", desenvolvido pela Enel em parceria com a Deloitte, apresenta cenários para a trajetória de descarbonização do Brasil até 2050.

Um dos pontos centrais é a redução do consumo de combustíveis fósseis, em especial petróleo e gás, que hoje respondem por cerca de 50% da matriz energética brasileira. Para alcançar o cenário de neutralidade climática, o relatório projeta que até 2050 esse percentual deverá cair para menos de 20%, com substituição gradual por eletrificação e biocombustíveis avançados. Segundo o estudo, a eletrificação dos usos finais ganha destaque nesse contexto: estima-se que a participação da eletricidade no consumo energético final, hoje próxima de 20%, possa atingir entre 35% e 40% até 2050. Essa eletrificação será distribuída em diferentes setores:

- Indústria: processos térmicos de baixa e média temperatura poderão migrar para eletricidade. Já a indústria pesada *hard to abate* (de difícil abatimento), como siderurgia, cimento e química, poderá se beneficiar do hidrogênio verde como insumo energético e matéria-prima, viabilizando rotas de baixo carbono para o aço e fertilizantes.
- Transporte: veículos leves terão crescente penetração da mobilidade elétrica, alcançando 51% até 2050, enquanto o transporte pesado, como ônibus urbanos,

caminhões, e trens, será atendido pela eletrificação direta em 99% em 2050.

- Residencial e Comercial: aumento da eletrificação por meio da expansão de equipamentos mais eficientes, como aquecimento de água via bombas de calor e climatização elétrica de alta eficiência, reduzirá a dependência do gás natural.
- Agropecuária: mecanização elétrica e uso de eletricidade podem reduzir consumo de diesel, além de apoiar a produção de fertilizantes verdes.

Ao integrar eletrificação, geração renovável e novas fontes de energia limpa como o hidrogênio verde, o Brasil poderia reduzir em mais de 70% as emissões do setor energético até 2050, ao mesmo tempo em que aumenta a competitividade da indústria e reduz custos para consumidores.

Segundo o estudo, esse cenário demandará cerca de R\$ 1,6 trilhão em investimentos no setor de energia. Embora elevado, esse valor é totalmente compensado pelos ganhos com o mecanismo de precificação do carbono, a economia de maior eficiência energética e ao benefício gerado em termos de custos sociais de carbono evitado, além da oportunidade de gerar um saldo líquido de 8 milhões de empregos, fortalecendo a indústria nacional e o posicionamento estratégico do Brasil como exportador de energia limpa.

47

Estratégia da Enel: mitigação, adaptação e inovação

As mudanças climáticas impactam não apenas as cidades e a vida das pessoas, mas também a operação do setor elétrico, exigindo respostas rápidas e estruturadas. Para a indústria de energia, isso significa repensar a forma de planejar, operar e investir, buscando não apenas mitigar riscos, mas também adaptar suas práticas ao novo cenário.

No Brasil, a Enel já opera 6,6 GW de capacidade instalada 100% renovável, distribuída entre fontes eólica, solar e hidrelétrica, reafirmando seu compromisso com

a neutralidade climática e a descarbonização do setor elétrico. Essa matriz posiciona a companhia como uma das principais operadoras de energia limpa do país, ao mesmo tempo em que gera empregos e desenvolvimento em diversas regiões.

Na distribuição de energia, a Enel tem ampliado de forma consistente seus investimentos, destinando R\$ 24 bilhões no triênio 2025–2027, conforme anunciado em 2024, com a estratégia de modernização e digitalização da rede elétrica.

As ações de mitigação, que atuam sobre as causas do aquecimento global, concentram parte relevante desses investimentos em iniciativas como a instalação de equipamentos de telecontrole, o reforço e automação da rede, a expansão de subestações e a modernização das linhas existentes. Essas medidas trazem eficiência à rede, reduzindo o tempo de resposta, e aproximam a empresa das metas de neutralidade climática, ao mesmo tempo em que garantem maior qualidade no fornecimento de energia.

Já as ações de adaptação, voltadas a lidar com os impactos inevitáveis das mudanças climáticas, buscam tornar a rede mais resiliente perante o aumento da frequência de tempestades, enchentes e ondas de calor. O plano inclui monitoramento meteorológico contínuo, sistemas de gerenciamento de eventos críticos e progra-

mas sazonais como o Plano Verão, para uma resposta rápida a emergências. Além disso, práticas como podas e manejo arbóreo reduzem desligamentos causados por quedas de galhos sobre a rede, evidenciando como a adaptação está diretamente ligada à experiência do cliente e à resiliência operacional.

Esse movimento é acompanhado por um ciclo contínuo de inovação. Parcerias com centros de pesquisa e iniciativas como Caminhos para a Transição Energética e Cidades Circulares permitem antecipar tendências regulatórias e climáticas, além de desenvolver soluções urbanas sustentáveis. Assim, cada investimento fortalece não apenas a operação da rede, mas também a contribuição para uma sociedade mais resiliente, eficiente e inclusiva.

Rio de Janeiro: protagonista da transição energética nacional

48

O estado do Rio de Janeiro concentra uma das maiores carteiras de investimentos do país. Segundo a Firjan, o Panorama de Investimentos 2025–2027 projeta R\$ 534 bilhões em novos projetos, quase 80% voltados ao setor de energia. Esse volume pode gerar milhares de empregos, ampliar a arrecadação estadual e municipal e consolidar o Rio de Janeiro como polo estratégico da transição energética, ao combinar ativos tradicionais, como petróleo e gás, com novos vetores de baixo carbono, como hidrogênio verde e eólica *offshore* e o investimento em digitalização da rede.

No estado do Rio de Janeiro, a Enel Distribuição Rio está no centro dessa transformação. A empresa vai investir cerca de R\$ 6,1 bilhões em três anos — um aumento de 74% em relação ao plano anterior — para modernizar a rede nos 66 municípios onde atua. Somente em 2025, o plano inclui a construção, ampliação e modernização de subestações, a construção de 80 km de rede de alta tensão, recondicionamento de 300 km de rede de média tensão, além da introdução de mais de aproximadamente 2.000 equipamentos com telecontrole, para gestão remota e aumento da confiabilidade.

Esses investimentos no Rio de Janeiro não se limitam à infraestrutura física; envolvem também a ampliação da equipe, com a contratação de mais de 2.000 colaboradores até 2026, a intensificação da manutenção preventiva, por meio de podas e inspeção termográfica e o aprimoramento do atendimento ao cliente.

Para a sociedade, a Enel desenvolve anualmente iniciativas voltadas ao acesso à energia e à inclusão social, como o programa de troca de geladeiras, os projetos de eficiência energética via chamadas públicas, ações de educação para o consumo consciente e iniciativas de geração de renda, que contribuem para combater a pobreza energética. Nos últimos cinco anos, foram executados mais de 40 projetos de eficiência energética, beneficiando hospitais, escolas, instituições públicas e sistemas de iluminação. Essas ações proporcionaram uma economia de 9.675 MWh por ano, refletindo em redução de custos e aliviando orçamentos públicos, além de reforçar a cidadania energética.

Em conjunto, essas ações fortalecem o papel da Enel como agente de transformação do setor elétrico, alinhado à eficiência, inovação e atendimento de qualidade.

Transição energética justa: impactos sociais e melhora na qualidade de vida

As mudanças climáticas colocam à prova a resiliência das sociedades e evidenciam que os impactos recaem com mais força sobre os grupos mais vulneráveis. Garantir acesso seguro e estável à energia é, portanto, mais do que uma meta ambiental: é uma questão de justiça social. A transição energética justa deve assegurar que os benefícios da descarbonização, entre eles a energia limpa, tarifas acessíveis e a geração de novos empregos, cheguem a todos, reduzindo desigualdades e evitando que populações inteiras fiquem expostas ao risco de deslocamentos forçados, os chamados refugiados climáticos, ou à pobreza energética.

Os investimentos em energias renováveis, digitalização das redes e manutenção preditiva são pilares dessa transformação. Essas medidas, além de evitar emissões de gases, tornam o sistema elétrico mais confiável, reduzem perdas, antecipam falhas e reforçam a resiliência frente a eventos climáticos extremos. Ao mesmo tempo, permitem que residências, escolas, hospitais e comércio tenham energia estável e de qualidade, criando uma base sólida para a inclusão social e o desenvolvimento humano.

Os efeitos são perceptíveis no cotidiano: contas de luz menores com eficiência energética, ar mais limpo com a eletrificação da frota de transportes, empregos qualificados na construção e operação de ativos renováveis e cidades mais resilientes com redes inteligentes. Ao reduzir custos associados à saúde, melhorar a mobilidade e aumentar a produtividade, a transição energética contribui diretamente para elevar a qualidade de vida da população e fortalecer o direito à cidadania à toda a população.

Por fim, o futuro da energia será tanto mais promissor quanto mais for capaz de combinar propósito e tecnologia. Políticas públicas consistentes, marcos regulatórios estáveis e inovação contínua são elementos essenciais para acelerar essa agenda. A integração entre geração renovável, redes digitais e participação social é o caminho para um sistema energético competitivo, inclusivo e sustentável. É nessa convergência que a transição energética deixa de ser apenas uma resposta às mudanças climáticas e se afirma como uma verdadeira estratégia de desenvolvimento para a sociedade.





Instituto SENAI de Inovação em Sistemas Virtuais de Produção (ISI SVP)

A Firjan SENAI Sesi, por meio do Instituto SENAI de Inovação em Sistemas Virtuais de Produção (ISI SVP), consolida-se como referência no uso de Inteligência Artificial (IA) para acelerar a **transição energética** e a **transformação digital da indústria**. Combinando competências em **modelagem digital, visão computacional, análise de sinais e algoritmos avançados**, o instituto desenvolve soluções que promovem **eficiência operacional, redução de desperdícios e sustentabilidade**.

Entre os destaques do portfólio estão:

- **Soluções de monitoramento energético com IA**, capazes de analisar padrões de consumo em tempo real e indicar estratégias para otimização de processos e redução de custos.
- **Plataformas de desagregação energética não-intrusiva**, que utilizam aprendizado profundo para mensurar e prever o consumo de equipamentos industriais, apoiando metas de eficiência energética e descarbonização.
- **Sistemas de manutenção preditiva embarcados**, que identificam falhas em tempo real, garantindo maior confiabilidade operacional e evitando paradas não programadas com impacto energético.
- **Ferramentas avançadas de análise de sinais**, que identificam padrões e anomalias em processos críticos, contribuindo para operações mais seguras e energeticamente eficientes.

Entre essas soluções, destaca-se o **sistema inteligente de monitoramento energético**, desenvolvido durante o Programa LabProcel (parceria entre Firjan SENAI e Eletrobras) para oferecer **gestão remota do consumo elétrico** com precisão. A tecnologia combina IA, arquitetura em nuvem e análise de dados, utilizando um único medidor para mapear e prever o uso de múltiplos equipamentos. Essa abordagem **não-intrusiva** permite ganhos de eficiência, suporte às metas de **descarbonização** e tomadas de decisão mais assertivas, com informações acessíveis em tempo real via aplicativo ou interface web.

Com uma equipe multidisciplinar e uma infraestrutura robusta, o **ISI SVP** atua como um **hub de inovação em IA e energia**, apoiando indústrias de diferentes segmentos na transição para um futuro mais **inteligente, sustentável e alinhado à economia de baixo carbono**.



Inovação FIRJAN - Soluções Térmicas para Valorização de Resíduos Sólidos

O Instituto SENAI de Inovação em Química Verde desenvolveu um projeto voltado para a construção de uma planta de conversão térmica inteligente, em escala semi-piloto, com o objetivo de valorizar resíduos sólidos urbanos e úmidos para a produção de biocombustíveis. O projeto foi estruturado a partir da geração de conhecimentos tecnológicos aplicados ao processamento de diferentes tipologias de resíduos, assegurando a eficiência do processo e a viabilidade do uso em escala ampliada.

Ao longo da execução, foram avaliados processos utilizando catalisadores modificados, o que permitiu ganhos significativos em seletividade e estabilidade térmica. Também foi concebido e construído um sistema semi-piloto integrado, capaz de simular condições reais de operação e fornecer dados robustos para futuras aplicações industriais.

Os principais desafios enfrentados incluíram a necessidade de segregação adequada dos resíduos, a complexidade de desenvolver operações unitárias para correntes em base úmida e a adaptação de catalisadores com desempenho superior em ambientes de alta severidade.

Como resultado, consolidou-se a competência em tecnologias de conversão térmica de resíduos sólidos, fortalecendo a capacidade de inovação voltada à bioenergia e à indústria sustentável. O projeto deixou como legado estratégias aplicáveis ao gerenciamento integrado de resíduos em parceria com municípios, além de soluções que ampliaram a competitividade do setor e impulsionaram o avanço da economia circular. Dessa forma, gerou impactos diretos na vida dos brasileiros, ao apoiar prefeituras na construção de cidades mais limpas, estimular a produção de energia renovável e contribuir para uma sociedade mais engajada na transição para um futuro sustentável.



Reator utilizado para aumento de escala da produção de óleo

Contato: Camila Linhares Lopes (cllopes@firjan.com.br) e Giovanni Pedroso (gbpedroso@firjan.com.br)

Como os projetos de gás natural podem contribuir no contexto da transição energética?

Elaborado por ENGIE

Introdução

A transição energética é um dos temas mais importantes da atualidade. Ela representa o esforço global para mudar a forma como produzimos e consumimos energia, buscando fontes mais limpas, seguras e sustentáveis. No Brasil, esse processo ocorre de forma particular: partimos de uma posição privilegiada, com matriz energética relativamente limpa e abundância de recursos naturais, o que permite que a transição se dê não pela substituição abrupta, mas pela diversificação das fontes de energia com o uso inteligente dos recursos já disponíveis.

Nesse contexto, o gás natural se consolida como um vetor estratégico da transição energética brasileira. Trata-se de um combustível com menor intensidade de carbono em relação a outras fontes fósseis, capaz de oferecer flexibilidade operacional, segurança no suprimento e sinergia com tecnologias emergentes. Sua

infraestrutura já estabelecida representa uma vantagem competitiva: viabiliza o atendimento do mercado com custos menores e pode ser aproveitada para a oferta de novos gases renováveis.

O Rio de Janeiro, com sua expressiva base industrial, densidade urbana e proximidade com polos produtores de energia, reúne condições ideais para liderar esse movimento. O uso estratégico do gás natural e da sua infraestrutura no estado pode impulsionar o desenvolvimento econômico, atrair investimentos e ampliar a competitividade da indústria, ao mesmo tempo em que contribui para metas ambientais e de segurança energética.

Neste artigo, vamos explorar o papel do gás natural como combustível da transição, destacando sua contribuição para a descarbonização de setores intensivos em energia e o uso da sua infraestrutura na garantia de resiliência e evolução para uma matriz cada vez mais limpa.

O papel do gás natural na transição energética do Brasil

O Brasil possui uma das matrizes mais limpas do mundo, com cerca de 50% da matriz energética total e mais de 80% da geração elétrica provenientes de fontes renováveis, como hidrelétricas, biomassa, solar e eólica. Essa composição reflete décadas de investimentos em recursos naturais abundantes, posicionando o país de forma privilegiada no cenário da transição energética global. Apesar desse contexto favorável, persistem desafios estruturais que exigem soluções complementares. A geração elétrica no Brasil, por exemplo, é altamente vulnerável a variações climáticas, devido à elevada participação de fontes intermitentes, o que compromete a previsibilidade e a segurança do suprimento de ener-

gia. Além disso, setores como a indústria e o transporte ainda operam com combustíveis fósseis de alta emissão, como o carvão mineral, o coque de carvão mineral e os derivados de petróleo, tais como diesel, óleo combustível, coque e GLP, dentre outros. Para enfrentar esses desafios e avançar na descarbonização, o gás natural se apresenta como alternativa técnica e economicamente viável, capaz de promover ganhos ambientais, econômicos e operacionais.

O gás natural apresenta atributos que o posicionam como uma solução estratégica na transição energética. Em primeiro lugar, sua combustão gera emissões significativamente menores de dióxido de carbono em

comparação a outros combustíveis fósseis, além de praticamente eliminar a liberação de particulados e óxidos de enxofre, poluentes críticos para a saúde pública. Além dos benefícios ambientais, o gás natural oferece vantagens técnicas que o qualificam como combustível

de transição: trata-se de uma fonte despachável, com elevada previsibilidade e flexibilidade operacional. Sua ampla aplicabilidade em diferentes setores e infraestrutura já existente reforçam sua viabilidade econômica e logística.

Gás natural: solução estratégica para setores-chaves da economia

Vejamos alguns exemplos de como o gás natural pode ser utilizado na descarbonização de setores da economia. Como já mencionado, a matriz elétrica brasileira é majoritariamente renovável, com forte presença da geração hídrica e crescente participação de solar e eólica. Essa evolução tem alterado o perfil do sistema de uma configuração hidrotérmica para uma estrutura mais dependente de fontes intermitentes. Ou seja, o setor elétrico brasileiro não está exatamente em uma transição de baixo carbono, mas em uma mudança estrutural que exige maior flexibilidade e capacidade de potência para garantir a estabilidade do sistema.

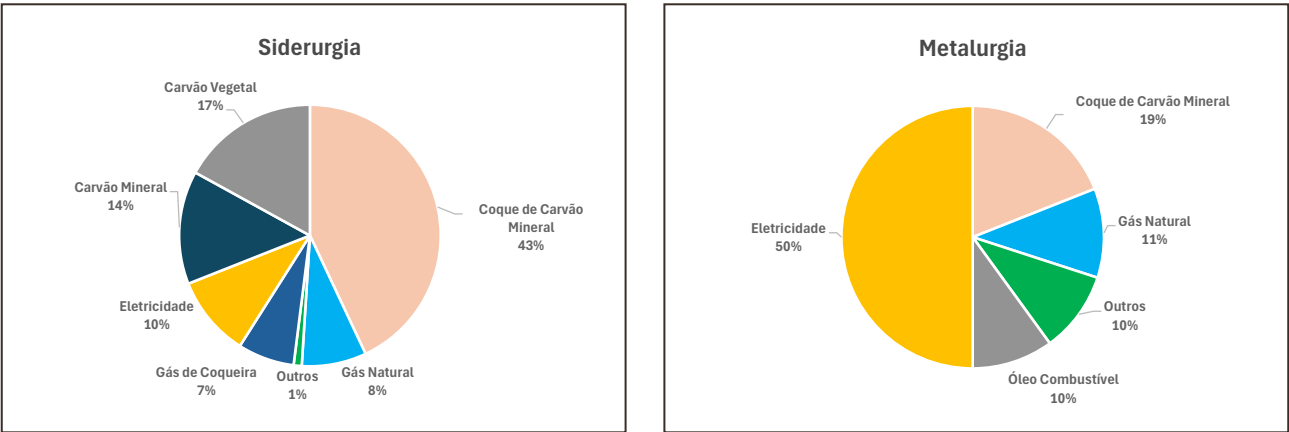
Nesse novo arranjo, o parque térmico – especialmente as usinas a gás natural – exerce função essencial como reserva técnica. As termelétricas a gás são fontes despacháveis, com capacidade de resposta rápida e operação estável, fundamentais para assegurar a confiabilidade do sistema elétrico em momentos de baixa geração renovável ou picos de demanda. Sua flexibilidade operacional contribui para a segurança energética e permite que o sistema absorva com mais eficiência e rapidez a variabilidade das fontes renováveis, viabilizando sua expansão de forma segura e coordenada. O gás natural também desponta como solução estratégica para o suprimento energético de data centers, cada vez mais essenciais por sustentarem serviços digitais, armazenamento de dados e operações críticas em diversos setores. Esses centros exigem fontes de energia firmes e de alta disponibilidade para atender o seu consumo crescente e necessidade de fornecimento contínuo e confiável. A complementariedade entre fontes renováveis e térmicas a gás pode garantir a estabilidade necessária para atrair investimentos em *data centers* no Brasil, transformando o país em um polo estratégico da economia digital.

O principal papel do gás natural na transição energética no Brasil, todavia, está associado aos setores industrial e de transporte, responsáveis por cerca de 65% das emissões do setor de energia no Brasil. Ambos setores *hard-to-abate* dependem de soluções tecnológicas para a descarbonização, que devem ocorrer apenas no longo prazo, enquanto o gás se coloca como solução econômica para a redução de emissões de GEE no curto e médio prazo.

Na indústria, o gás natural se destaca por sua versatilidade, podendo ser utilizado como fonte térmica em processos produtivos, como insumo energético em sistemas de cogeração e como matéria-prima na fabricação de fertilizantes e outros produtos químicos. Sua estabilidade de fornecimento e previsibilidade também favorece ganhos em eficiência e competitividade industrial. Essa multiplicidade de usos reforça o papel do gás natural como solução eficiente e ambientalmente mais adequada, capaz de substituir combustíveis de alta emissão e contribuir para a modernização dos processos produtivos.

Nos setores de siderurgia e metalurgia, em particular, o gás tem papel central na descarbonização dos processos produtivos, principalmente devido à alta participação de combustíveis mais poluentes e tecnicamente substituíveis. Na Figura 9 é possível visualizar a matriz energética de ambos os setores. Na siderurgia, o gás natural pode substituir o coque de carvão como fonte de energia e redutor de alto-forno, reduzindo substancialmente emissões de GEE, além de melhorar a eficiência térmica dos processos. Na metalurgia, o consumo elevado de óleo combustível e carvão também pode ser substituído pelo gás natural, com benefícios diretos na redução da pegada de carbono e na conformidade com exigências ambientais internacionais.

Figura 9: Matriz energética dos setores de siderurgia e metalurgia, 2024

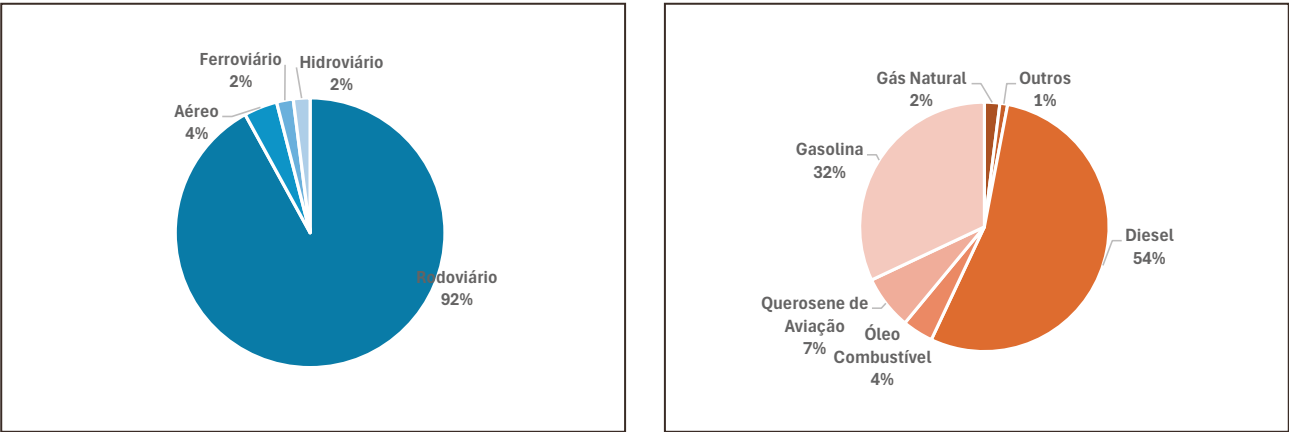


Fonte: Elaboração própria com dados EPE (2025)¹.

O setor de transportes, por sua vez, é um dos maiores emissores de GEE no país, devido à predominância do diesel no transporte rodoviário de cargas e da gasolina nos veículos de passeio, como mostra a Figura 10. Em 2023, a queima de diesel no setor de transportes resultou na emissão de aproximadamente 129 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, e o consumo deste

combustível tem apresentado tendência de crescimento nos últimos anos, enquanto o potencial de substituição por biodiesel permanece limitado, em função de restrições de escala produtiva. Nesse contexto, o gás natural surge como alternativa viável para a descarbonização no curto prazo.

Figura 10: Emissões do setor de transporte por modal e por combustível, 2023



Fonte: Elaboração própria com dados SEEG/Observatório do Clima (2024)².

O GNV e o GNL são alternativas que podem reduzir as emissões de forma significativa. O GNV já é utilizado em veículos leves e táxis em várias cidades brasileiras. Ele é mais barato que a gasolina e o etanol, além de emitir menos poluentes. Já o GNL, por ser armazenado em forma líquida, tem maior densidade energética e pode ser usado em frotas pesadas, transporte marítimo e ferroviário. A adoção dessas soluções em corredores logísticos e regiões com grande movimentação de cargas

representa uma oportunidade concreta, com impactos positivos imediatos na redução de custos operacionais e na descarbonização do setor.

Em suma, a análise dos setores de geração elétrica, indústria e transportes evidencia que o gás natural ocupa uma posição singular na transição energética brasileira. Sua versatilidade e menor intensidade de carbono o tornam uma solução prática e de impacto imediato para setores intensivos em emissões.

Infraestrutura de gás natural: base estratégica da transição

Um dos principais diferenciais do gás natural na transição energética brasileira é sua infraestrutura já existente. A infraestrutura nacional de gás natural inclui unidades de produção, escoamento e processamento, terminais de regaseificação e redes de gasodutos que conectam os polos produtores às áreas de consumo. Essa cadeia integrada permite que o gás natural esteja disponível de forma segura, contínua e economicamente viável em diversas regiões do país, viabilizando seu uso como combustível de transição em larga escala. No centro dessa infraestrutura está a malha de gasodutos de transporte, que desempenha papel essencial na segurança e eficiência do suprimento. No Brasil, essa rede é tecnicamente robusta e estrategicamente posicionada, sendo integrada nacionalmente desde o Rio Grande do Sul até o Ceará, além de conectar regiões produtoras — como a Bacia de Santos e o pré-sal — a centros consumidores de diferentes estados. No Rio de Janeiro, por exemplo, a infraestrutura de transporte é um ativo relevante para o abastecimento de indústrias, termelétricas e centros urbanos, além de permitir a integração com modais logísticos e projetos de expansão regionais.

Neste contexto, a expansão da infraestrutura de transporte de gás natural é uma condição essencial para consolidar o papel do gás natural como combustível da transição energética brasileira. Embora o país já conte com uma malha relevante, novos projetos de gasodutos são fundamentais para ampliar o acesso ao gás natural em regiões ainda não atendidas, substituindo combustíveis mais poluentes, reduzindo as assimetrias regionais

no acesso à energia e promovendo o desenvolvimento local, ao mesmo tempo em que elevam a eficiência no uso dos recursos energéticos nacionais e aumentam a segurança do suprimento.

Portanto, a ampliação da malha de transporte deve ser compreendida como um investimento estruturante para o futuro energético do Brasil, a fim de garantir que o gás natural cumpra plenamente seu papel como vetor de descarbonização. Com uma rede mais extensa e interligada, o país não apenas melhora a logística e a segurança de suprimento, mas também fortalece sua capacidade de descarbonizar setores intensivos em energia, sustenta a competitividade industrial e assegura a confiabilidade dos sistemas energéticos.

Adicionalmente, os investimentos na infraestrutura de transporte permitem a geração de efeitos multiplicadores nas economias locais, possibilitando maior acesso e estímulo à produção e comercialização do gás nacional, gerando um ciclo virtuoso de renda e emprego no país. A infraestrutura de gasodutos representa não apenas um ativo consolidado para o presente, mas também uma plataforma estratégica para o futuro da matriz energética. Com uma rede de gasodutos já instalada, tecnicamente madura e operando com elevados padrões de segurança, o país dispõe de uma base capaz de acelerar a inserção de novos combustíveis de baixo carbono. Essa capacidade de aproveitamento é um diferencial competitivo relevante, especialmente em um contexto de transição que exige soluções escaláveis, economicamente viáveis e de rápida implementação. O biometano é um exemplo concreto dessa sinergia.

Produzido a partir da digestão anaeróbica de resíduos orgânicos, esse gás renovável possui características físico-químicas compatíveis com o gás natural, podendo ser injetado diretamente na rede existente. Com essa possibilidade, a infraestrutura atual de gás natural se torna uma ponte entre o presente e o futuro, conectando soluções já disponíveis com uma fonte renovável emergente. Setores com alta geração de resíduos passam a ter a oportunidade de converter passivos ambientais em ativos energéticos, com impacto direto na sustentabilidade e na diversificação da matriz. Outro vetor promissor é o hidrogênio verde, produzido

por meio da eletrólise da água utilizando fontes renováveis. Embora ainda em fase de desenvolvimento tecnológico e econômico, estudos já indicam a viabilidade de sua inserção gradual na rede de gás natural por meio de misturas controladas. Essa abordagem permite testar e validar soluções técnicas, regulatórias e comerciais, utilizando a infraestrutura existente como plataforma inicial de oferta ao mercado. A possibilidade de adaptação dos gasodutos para diferentes composições de gás reforça a flexibilidade do sistema e amplia sua relevância na transição energética.

Conclusão

O papel do gás natural na transição energética brasileira é claro e estratégico. Com menor intensidade de carbono e ampla aplicabilidade, o gás natural se apresenta como uma solução madura e de impacto imediato, capaz de substituir fontes fósseis mais poluentes e promover ganhos ambientais, operacionais e econômicos. Sua flexibilidade e compatibilidade com diferentes setores o tornam essencial para enfrentar os desafios da descarbonização, especialmente em segmentos de difícil substituição tecnológica.

Além disso, o gás natural é sustentado por uma infraestrutura robusta e tecnicamente consolidada, que garante eficiência e segurança no suprimento. Essa rede não apenas viabiliza o uso atual do gás natural, como também se configura como plataforma para a inserção de combustíveis renováveis, como o biometano e o hidrogênio.

A capacidade de adaptação da malha de gasodutos amplia a relevância do sistema, tornando-o um ativo estratégico para acelerar a transição energética.

Em um país com as dimensões e complexidades do Brasil, o gás natural não é apenas um substituto pontual — é uma solução estruturante que preenche lacunas tecnológicas e logísticas, conectando o presente às oportunidades do futuro. Sua contribuição para a descarbonização, a competitividade industrial e a segurança energética é decisiva para que o país avance de forma coordenada, eficiente e sustentável rumo a uma matriz energética mais limpa, resiliente e alinhada aos compromissos climáticos globais.

Podemos afirmar que o gás natural é estratégico no presente e garante uma transição energética justa para um futuro sustentável.

Usinas hidrelétricas reversíveis: pilar estratégico para a transição energética brasileira

Elaborado por Light Energia

A herança hidráulica do setor elétrico brasileiro

Dada a elevada disponibilidade de recursos hídricos no nosso país, o SEB iniciou sua história estruturando o suprimento de energia elétrica a partir de UHEs, cujo projeto de engenharia predominantemente previa a formação de reservatórios de regularização que permitiam a gestão dos recursos hídricos, com benefícios diversos ao Sistema.

Olhando para o passado e acompanhando a evolução pela qual o SEB vem passando ao longo desses anos (e

que ainda irá passar), é possível afirmar, diferentemente do senso comum, que a decisão dos nossos antecessores em fomentar a implantação de projetos hidrelétricos deve ser considerada como um dos patrimônios mais importantes do país, sustentando até aqui os desafios trazidos pelas mudanças climáticas e criando oportunidades para a inserção de outras fontes de geração de energia elétrica, com benefícios para a sociedade, consumidores e para a economia.

Novos desafios do sistema elétrico

Fato é que as funções originais das UHEs estão passando por uma transformação devido às mudanças climáticas, aos usos múltiplos dos reservatórios, à necessidade de flexibilidade, resiliência e armazenamento para gerenciar grandes montantes de geração de energia intermitente. Aliado a isso, o SEB enfrenta um novo paradigma com o fim da fase de construção de grandes hidrelétricas: como avançar em projetos de geração de energia renovável de fontes intermitentes, mantendo o equilíbrio do sistema elétrico, sem contar com energia despachável adicional, como a energia fornecida pelas UHEs.

Tal paradigma é motivado principalmente por dois fatores:

- Exponencial incremento da participação das fontes renováveis não despacháveis na matriz elétrica brasileira, sobretudo a eólica e solar fotovoltaica, motivado pelo menor custo e prazo de construção, bem como a menor complexidade para o licenciamento ambiental.
- Elevada dificuldade para implantação de novas UHEs com reservatórios de regularização (ou mesmo aquelas operados à fio d'água) devido a questões ambientais e políticas, uma vez que grande parte do potencial hidrelétrico remanescente está localizado na bacia do rio Amazonas ou em áreas consideradas ambientalmente sensíveis.

A necessidade de flexibilidade e armazenamento

Diante das transformações em curso no Setor Elétrico, é natural que as UHEs deixem de exercer gradativamente sua função original e passem a desempenhar um papel que vai além da geração convencional de energia.

Cada vez mais, essas usinas assumem um papel estratégico na prestação de serviços que garantem o equilíbrio entre oferta e demanda, atuando como verdadeiras baterias verdes.

Com alta capacidade de armazenamento de energia e resposta rápida às necessidades de injeção de energia, as UHEs são recursos valiosos para proporcionar a flexibilidade operativa exigida pelo ONS, contribuindo para a estabilidade e eficiência da rede elétrica em um cenário de crescente complexidade.

Entretanto, a mudança do contexto de geração de energia elétrica requer adequações. A entrada de fontes renováveis intermitentes obriga a entrega de serviços intensivos, especialmente em termos de flexibilidade e confiabilidade do sistema. A capacidade de atendimento em geração máxima e de forma imediata torna-se cada vez mais necessária, principalmente devido à intermitência dessas fontes. O suprimento em capacidade de potência, não somente a geração de energia, é

essencial para a flexibilidade e resiliência operativa.

Nota-se que muitos dos serviços mencionados estão ligados à capacidade de flexibilização operacional hoje já ofertada pelas hidrelétricas, além de benefícios ambientais, sociais e econômicos que ainda não são monetizados aos geradores e que, no entanto, geram custos adicionais à operação não considerados inicialmente nos seus modelos de negócio.

Toda essa transformação da matriz elétrica exige uma mudança na lógica do planejamento e operação setorial para que os novos desafios sejam adequadamente enfrentados. O modelo institucional e comercial do setor elétrico brasileiro precisa ser repensado, visando preparar o sistema para uma expansão sustentável e que consiga resolver questões que já aparecem de forma muito evidente. Dentre elas, destaca-se a necessidade de remuneração adequada das hidrelétricas pelos serviços adicionais à produção de energia que proveem ao sistema.

A questão agora é entender como o planejamento setorial e os projetos de origem hidráulica podem contribuir para os desafios da transição energética que estamos vivendo.

Usinas hidrelétricas reversíveis (UHRs): conceito e funcionamento

Em meio a isso tudo, surge a figura tão conhecida da usina hidrelétrica reversível (UHR), tecnologia muito utilizada em outros países e ainda inexplorada no Brasil, dada nossa elevada disponibilidade hídrica sem a necessidade de adoção de sistemas de armazenamento para otimização do uso desse recurso natural. No mundo, as UHRs já alcançam quase 200 GW de capacidade instalada, fornecendo mais de 90% de todo o armazenamento de energia de longa duração, com mais de 400 projetos em operação, sendo atualmente a maior forma de armazenamento de energia renovável.

As UHRs operam com dois reservatórios de água em diferentes altitudes: um superior e outro inferior. Durante os períodos de alta demanda elétrica, a água pode ser liberada do reservatório superior para o inferior, acionando turbinas e gerando energia. Em momentos de menor demanda, o processo é invertido, bombeando a água de volta ao reservatório superior, consumindo energia da rede. Esse ciclo de carga e descarga permite que as UHRs funcionem como grandes baterias hidráulicas, armazenando energia na forma de potencial gravitacional.

Benefícios das UHRs para o sistema elétrico

A natureza intermitente e sazonal de recursos como vento e irradiação solar trazem incertezas que afetam a operação do sistema elétrico. Embora o armazenamento na forma de baterias químicas BESS ajude a contornar esses efeitos, o que se busca como solução efetiva são sistemas de armazenamento de eletricidade de longa duração LDES, sendo a UHR a que possui tecnologia mais madura e de maior capacidade e escala, configurando assim como a melhor alternativa para equilibrar o sistema, mantendo baixos níveis de emissão de GEE e proporcionando outros benefícios. Elas são muito eficientes, apresentam rápido tempo de resposta e vida útil mais longa do que as outras alternativas. Pode-se dizer que as UHRs são a única tecnologia de armazenamento de longa duração amplamente disponível em escala de rede capaz de oferecer alta confiabilidade, rápida resposta operacional e suporte à estabilidade do sistema. Além disso, contribuem para o aproveitamento mais eficiente de fontes renováveis intermitentes, como solar e eólica, ao compensar suas variações e garantir o suprimento contínuo de energia. Tais usinas contribuem diretamente para a gestão energética por meio do armazenamento de energia em períodos de baixa demanda e fornecimento em momentos de maior consumo, aproveitando variações de preço e disponibilidade, conhecido no mercado como arbitragem de energia (*energy arbitrage*).

Complementarmente, ao reduzir os picos de carga do sistema por meio da liberação de energia previamente armazenada, realizam o *peak-shaving*, aliviando a pressão sobre outras fontes geradoras e melhorando a eficiência operacional da rede.

As UHRs também prestam serviços ancilares essenciais à estabilidade do sistema elétrico, como resposta rápida à demanda, controle de tensão, regulação de frequência, partida autônoma (*black-start*), atuação como reserva girante e suporte ao controle de reativos.

No que diz respeito à gestão do fornecimento, as UHRs elevam a qualidade da energia entregue e reforçam a confiabilidade do sistema. Esses atributos as tornam elementos estratégicos para a segurança e operação em tempo real.

Ressalta-se ainda o papel fundamental dessas usinas na integração de fontes renováveis intermitentes ao oferecerem capacidade firme e realizarem o deslocamento da geração para horários mais adequados à demanda (*time shifting*). Essas usinas viabilizam a inserção segura e eficiente de energias não despacháveis, promovendo a transição para uma matriz elétrica mais limpa e resiliente.

Isso posto, pode-se afirmar que essa tecnologia é essencial para a expansão do sistema, sendo um importante recurso disponível para atender as crescentes demandas do SIN.

Desafios e barreiras à implantação no Brasil

Apesar do seu enorme potencial, há uma necessidade urgente de atualizar a regulação para enfrentar o descompasso entre a velocidade da aprovação de regras frente à inovação e soluções que possam dar flexibilidade e viabilizar a atração de investimentos em redes mais eficientes. Além disso, é essencial implementar mecanismos que

possibilitem a adequada remuneração por todos os atributos sistêmicos oferecidos.

A implementação dessas soluções ainda enfrenta barreiras devido à complexidade regulatória e à necessidade de uma coordenação eficiente entre as instituições privadas e governamentais.

O papel da Light e a perspectiva de futuro

Atenta às transformações do setor elétrico e fiel ao seu histórico de protagonismo, a Light tem se dedicado de forma estratégica ao desenvolvimento da primeira Usina Hidrelétrica Reversível do Brasil no século XXI.

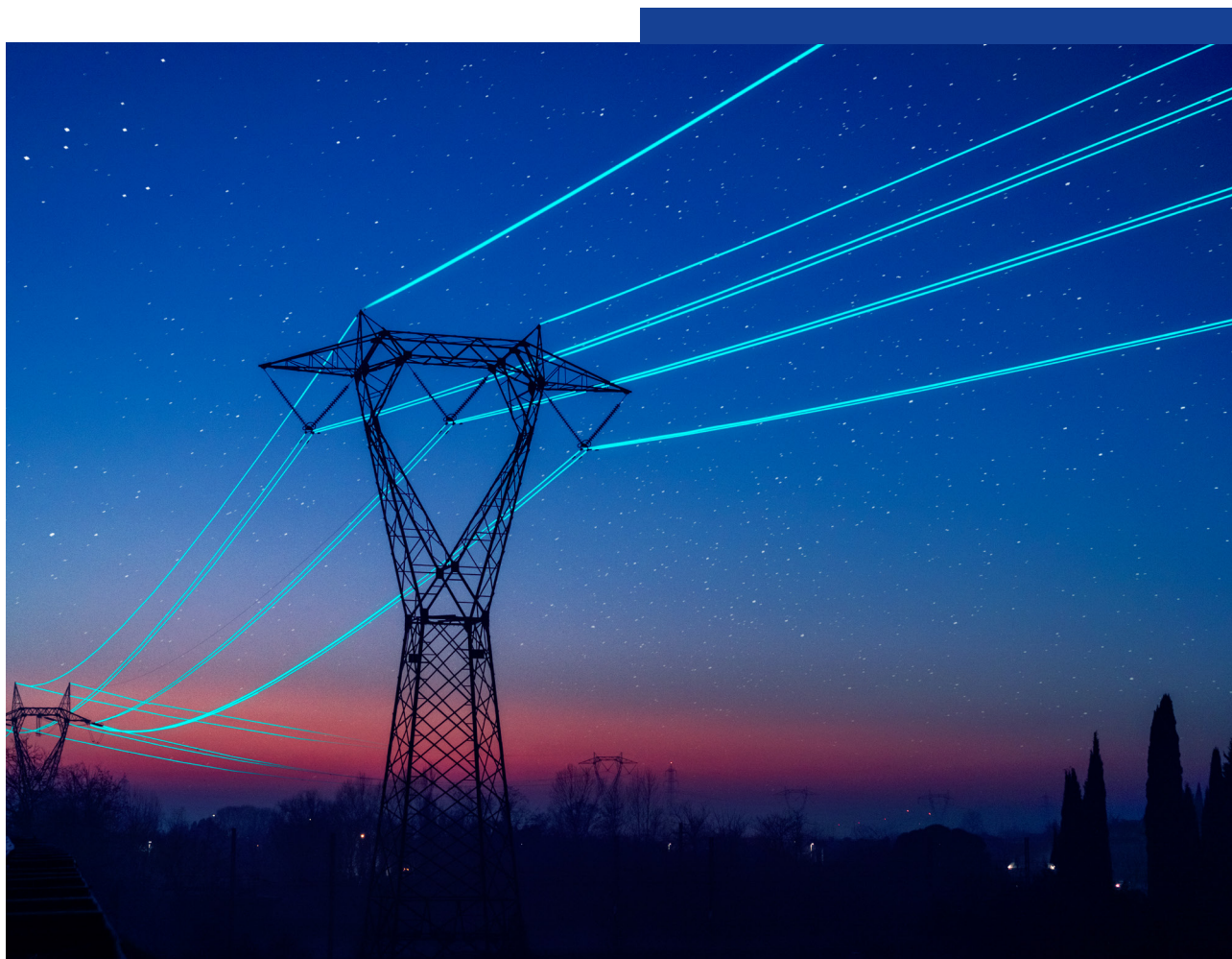
Com visão de futuro e compromisso com a inovação, a empresa vem investindo em estudos técnicos, mobilizações institucionais e aprimoramentos regulatórios que viabilizem a implantação desse empreendimento pioneiro.

As UHRs representam uma solução robusta para os

desafios da transição energética, e a iniciativa da Light reforça seu papel como agente impulsionador da modernização da matriz elétrica nacional.

A capacidade de armazenamento, a flexibilidade operacional e os serviços ancilares prestados por essas usinas são fundamentais para garantir a segurança, eficiência e sustentabilidade ao SIN.

A atuação da Light nesse contexto sinaliza um avanço concreto rumo a um setor mais resiliente e preparado para o futuro.



Marcos legais recentes e Agenda Regulatória da ANP para a transição energética no Brasil

Elaborado por Mattos Filho

Nos últimos anos, o Brasil avançou significativamente na criação de um arcabouço legal robusto para impulsionar a transição energética, consolidando-se como referência em energias renováveis e descarbonização. Entre 2024 e 2025, o Congresso Nacional aprovou e o Executivo sancionou uma série de leis estratégicas que estabelecem novos tipos de oferta de energia, fomentando tecnologias limpas e inovadoras.

Entre os principais marcos legais recentes, destacam-se:

- Lei nº 14.902/2024 – Programa Mobilidade Verde e Inovação (Mover), que fomenta a produção e uso de veículos de baixa emissão.
- Lei nº 14.948/2024 – Marco Legal do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono, que institui a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono.
- Lei nº 14.993/2024 – Lei do Combustível do Futuro, que cria um marco regulatório para biocombustíveis avançados, combustíveis sintéticos, captura e estocagem de carbono ("CCS"), e amplia a participação de etanol e biodiesel na matriz de transportes.
- Lei nº 15.042/2024 – Mercado Regulado de Carbono, que estrutura o sistema nacional de comércio de emissões.
- Lei nº 15.097/2025 – Marco Legal da Energia *Offshore*, que regula a cessão de áreas marítimas para geração de energia eólica *offshore*.
- Lei nº 15.103/2025 – Programa de Aceleração da Transição Energética (PATEN), que cria mecanismos de financiamento e garantias para projetos de baixo carbono, com destaque para o Fundo Verde, que visa mobilizar até R\$ 600 bilhões em investimentos.

Essas legislações representam um aprimoramento na política energética nacional, alinhando o Brasil às

melhores práticas internacionais e às metas do Acordo de Paris. No entanto, a efetividade dessas leis depende de regulamentação detalhada, a ser realizada por meio de decretos do Executivo e atos normativos das agências reguladoras, especialmente a ANP, no que se refere ao hidrogênio, ao CCS e aos combustíveis de baixo carbono.

O Executivo tem trabalhado na emissão dos respectivos decretos regulamentadores, os quais incluem a regulamentação do Certificado de Garantia de Origem do Biometano (CJOB), objeto do Decreto nº 12.614/2025, e a regulamentação do Marco Legal do Hidrogênio. A ANP, no mesmo sentido, vem trabalhando em novos normativos relevantes, como a recente emissão da Resolução ANP nº 987/2025, que substitui a Resolução ANP nº 734/2018 e estabelece novos requisitos para a autorização da atividade de produção de biocombustíveis. A nova resolução, que já valia para autorização de plantas de produção de biometano, etanol e biodiesel, busca trazer mais flexibilidade ao processo de outorga, além de incluir novos produtos, como diesel verde e querosene de aviação alternativo oriundo de biomassa no seu escopo.

Existem ainda outras iniciativas relevantes na Agenda Regulatória da ANP para o biênio 2025-2026, a qual consolida 56 iniciativas — 28 herdadas da agenda 2022-2024 e 28 inéditas — com forte repercussão sobre a transição energética ("Agenda ANP"). Embora o documento tenha sido concebido para abarcar todos os segmentos sob a competência da ANP, no que se refere à transição energética, ele enfoca em temas de gás natural, como combustível de transição, e biocombustíveis. No segmento de gás natural, a maior parte das ações busca operacionalizar a Nova Lei do Gás, priorizando a

migração do regime de concessão para autorização nos gasodutos de transporte, a promoção do acesso não discriminatório às infraestruturas essenciais e a definição de metodologias tarifárias mais transparentes. Esse enfoque, predominantemente pró-mercado, reforça a leitura do gás natural como insumo de competitividade sistêmica, deixando em segundo plano sua função de combustível-ponte para a descarbonização. A única ação explicitamente climática é a futura resolução sobre redução de emissões de metano nas atividades de exploração e produção, que poderá alterar a pegada de carbono do *upstream*.

No bloco de biocombustíveis, a Agenda ANP apresenta nove novas iniciativas, evidenciando esforço para regulamentar a Lei do Combustível do Futuro e aperfeiçoar a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). Destacam-se as proposições sobre a certificação das rotas de SAF, a criação do CGOB, a revisão das metas individuais e das sanções do RenovaBio, a regulamentação da participação de produtores de cana-de-açúcar na receita dos CBIOS e a atualização das especificações de combustíveis marítimos para permitir a adição de biodiesel e outros renováveis. Essas medidas combinam regulação técnica (qualidade, rastreabilidade, certificação por ciclo de vida) e instrumentos econômicos (créditos de carbono, metas compulsórias), sinalizando convergência entre política energética e política climática.

Tecnologias emergentes como hidrogênio de baixa emissão e CCUS ainda não possuem cronograma regulatório pré-definido na Agenda ANP, apesar de recentes marcos legais conferirem à ANP competência para regular temas como outorga e seus critérios, certificação, rastreabilidade e classificação por intensidade de carbono. A razão para a não introdução desses temas possui fundamentos distintos, conforme posicionamentos da ANP.

Para CCUS, a inexistência de ação específica na Agenda ocorre porque a ANP já se posicionou sobre como atuará sobre essa indústria nos próximos anos pelo "Relatório sobre a implementação do marco regulatório de CCUS no país", elaborado pela Superintendência de Tecnologia e Meio Ambiente (STM). No referido relatório,

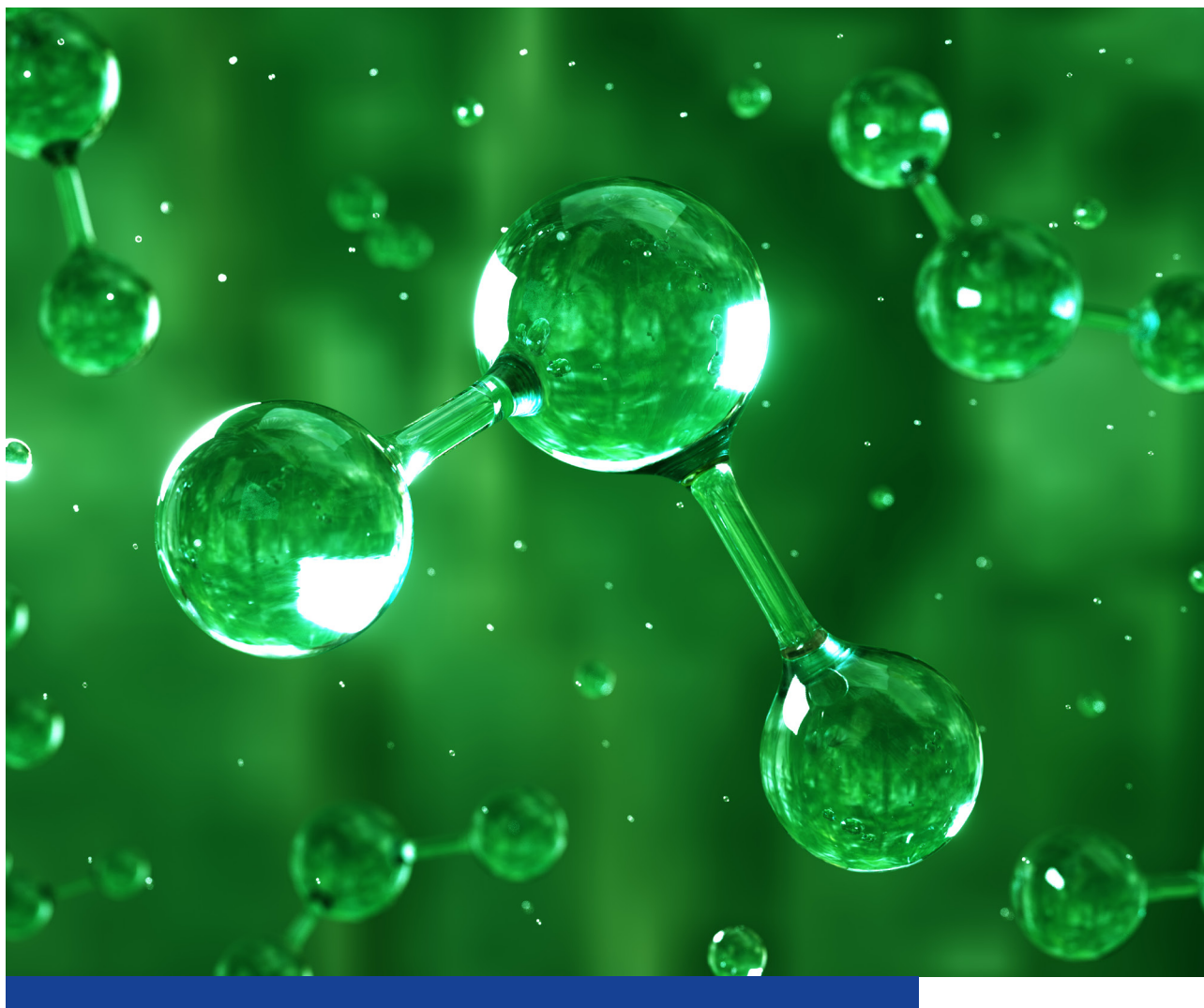
a ANP realiza uma análise da cadeia de CCUS e conclui que, diante do estágio ainda incipiente dessas atividades no Brasil, a abordagem regulatória mais adequada seria por meio da regulação experimental, especialmente via projetos-piloto. Essa diretriz técnica fundamentou as Resoluções de Diretoria nº 256 e nº 859, ambas de 2024, que estabeleceram que projetos relacionados à atividade de CCS, em andamento ou em fase de implantação, serão autorizados por meio de regulação experimental via projetos-piloto, até que seja concluído o processo de regulamentação específica.

No caso do hidrogênio de baixo carbono, a ausência de ação específica na Agenda se justifica por posicionamento prévio da ANP, consolidado no relatório "Implementação do Marco Regulatório do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono no Brasil", elaborado pelo Grupo de Trabalho de Hidrogênio instituído pela Portaria nº 148/2022. Nesse documento, a Agência reconhece que, diante da recente sanção da Lei nº 14.948/2024, ainda é necessário aguardar a edição do decreto regulamentador pelo Poder Executivo Federal, que definirá aspectos essenciais para a atuação regulatória da ANP, como as fronteiras de competência entre agências e os critérios para autorização das atividades previstas. Com vistas a não atrasar a implementação de projetos e prover conforto ao mercado, a ANP já indicou a intenção de elaborar uma cartilha de boas práticas para orientar os agentes econômicos e fomentar o desenvolvimento seguro e eficiente da indústria de hidrogênio de baixa emissão de carbono, enquanto a regulamentação infralegal é discutida.

A Agenda ANP também revela uma postura favorável da ANP à inovação regulatória de forma mais abrangente, evidenciada pela proposta de nova ação intitulada "Experiências regulatórias inovadoras: Padronizar o conceito de sandbox regulatório e distinção de outros tipos de autorização excepcional". Essa iniciativa está em consonância com a diretriz de apoiar soluções energéticas inovadoras ainda não contempladas pelas normas vigentes, por meio de instrumentos de regulação experimental. Essa abordagem não apenas viabiliza o desenvolvimento de novas tecnologias, como também promove segurança

jurídica e flexibilidade regulatória, essenciais para a consolidação de soluções energéticas disruptivas como o hidrogênio de baixa emissão e o CCUS. Em síntese, o Brasil construiu, entre 2024 e 2025, uma base legal sólida e abrangente para liderar a transição energética. O Executivo e a ANP avançam na regulamentação dos biocombustíveis e consolida reformas pró-mercado no gás natural. É evidente que o estabelecimento de um arcabouço legal robusto não é a única

barreira para desenvolvimento das novas tecnologias e projetos para transição energética, sendo necessário resolver outras questões relevantes, tais como os gargalos na rede de transmissão de energia, restrições de pedidos de conexão do SIN e a expansão das malhas de transporte de gás. Contudo, vemos o Brasil em uma posição estratégica para se posicionar como *player* relevante na transição e um esforço dos agentes na criação de um ambiente regulatório seguro.



Petrobras impulsionando a transição energética: Inovação offshore e o potencial transformador do projeto piloto CCS Cabiúnas-São Tomé

Elaborado por Petrobras

CCUS como pilar da transição energética

A tecnologia de CCUS tem se consolidado como uma das principais ferramentas para viabilizar a descarbonização profunda de setores industriais intensivos em emissões, como os de óleo e gás, siderurgia, cimento e petroquímica. Em um contexto global marcado por metas climáticas cada vez mais ambiciosas e crescente pressão regulatória, o CCUS oferece uma alternativa viável para mitigar emissões de CO₂ sem comprometer a continuidade operacional de ativos estratégicos.

Ao permitir a captura e o armazenamento seguro e permanente de CO₂, o CCUS preserva investimentos existentes, valoriza competências técnicas e estende a vida útil de infraestruturas críticas. Trata-se de uma tecnologia essencial para garantir uma transição energética segura, eficiente e inclusiva, especialmente em países com matriz energética complexa e forte presença de indústrias de base.

No Brasil, o CCUS também se mostra promissor em segmentos como a bioenergia, com destaque para o etanol de cana-de-açúcar. A possibilidade de capturar CO₂ biogênico e armazená-lo geologicamente amplia o impacto positivo da tecnologia, posicionando o país como protagonista na construção de uma economia de baixo carbono.

Nesse cenário, a Petrobras assume papel estratégico ao alinhar suas ações de descarbonização com os compromissos definidos em seu Plano Estratégico. A companhia busca liderar a transição energética justa, conciliando a exploração responsável de óleo e gás com a diversificação em negócios de baixo carbono, como biocombustíveis, petroquímicos sustentáveis e energias renováveis.

Petrobras: pioneirismo e escala na captura, uso e armazenamento de CO₂ em águas ultra profundas

A Petrobras tem desempenhado um papel central na implementação de soluções de CCUS em ambientes *offshore*, consolidando-se como referência global na aplicação da tecnologia em águas ultra profundas. A companhia opera atualmente o maior *cluster offshore* de

CCUS do mundo, com sistemas de reinjeção de CO₂ em 23 unidades flutuantes de produção, armazenamento e transferência (FPSOs) localizadas na província do Pré-sal brasileiro, respondendo por cerca de 25% de todo CO₂ capturado e reinjetado no mundo.

Figura 11: Informações sobre o *cluster* de CCUS do Pré-sal



Fonte: Petrobras

Até o final de 2024, a Petrobras já havia reinjetado mais de 68 milhões de toneladas de CO₂ nos reservatórios do Pré-sal, sendo 14 milhões apenas no último ano. A meta é alcançar 80 milhões de toneladas até 2025, o que representa um marco significativo na trajetória de descarbonização da indústria de óleo e gás. Essa infraestrutura viabiliza a produção em reservató-

rios localizados a mais de 2.000 metros de profundidade e até 300 km da costa, em condições geológicas e operacionais extremamente desafiadoras. O sucesso da Petrobras nessa trajetória está diretamente ligado à sua **capacidade de inovação tecnológica** e à excelência operacional mesmo em cenários desafiadores como o do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos.

Inovações tecnológicas: avanços inéditos em CCUS em cenário offshore

A liderança da Petrobras em projetos de CCUS em águas ultra profundas é o resultado de uma série de inovações pioneiras, que incluem:

- **Captura de CO₂ por membranas poliméricas:** A companhia foi a primeira a aplicar essa tecnologia em ambientes *offshore*, permitindo a separação eficiente do CO₂ a partir do gás natural produzido nos reservatórios do pré-sal.
- **Aplicação da técnica *Water Alternating Gas* (WAG-CO₂):** A Petrobras foi pioneira na utilização dessa técnica em operações *offshore* em águas profundas, promovendo a recuperação avançada de petróleo e a reinjeção simultânea de CO₂.

- **Perfuração do poço de injeção de CO₂ mais profundo do mundo:** A empresa realizou a perfuração de poços com profundidade superior a 7.000 metros, demonstrando capacidade técnica singular em ambientes extremos.

Esses avanços não apenas consolidam a posição da Petrobras como líder global em CCUS no cenário *offshore*, como também abrem caminho para novas fronteiras tecnológicas e oportunidades de negócio, incluindo a formação de *hubs* de descarbonização e o desenvolvimento de novos modelos de negócio no país, como o serviço de transporte e armazenamento geológico de CO₂ para outras indústrias.

Projeto piloto de CCS Cabiúnas–São Tomé: um marco estratégico para o Brasil

66

Nesse contexto, o projeto piloto CCS Cabiúnas–São Tomé representa um passo estratégico e pioneiro na América Latina. Trata-se de uma iniciativa de PD&I de grande porte, voltada à validação de tecnologias de CCS em reservatórios salinos profundos.

O papel transformador do projeto CCS Cabiúnas–São Tomé vai além da validação tecnológica e operacional, com potencial de estruturar as bases para o desenvolvimento de uma cadeia de valor de CCS no Brasil, criando oportunidades concretas, tanto para a geração de conhecimento tecnológico e científico quanto para a formação de novos modelos de negócio. Ao integrar captura, transporte e armazenamento geológico de CO₂ em escala piloto, o projeto oferece subsídios técnicos e regulatórios para a criação de *hubs* de descarbonização industrial, viabilizando a prestação de serviços de armazenamento geológico de CO₂ e fomentando novos mercados para produtos e serviços descarbonizados. Alinhado ao Plano Estratégico da Petrobras, que prevê a ampliação dos investimentos em PD&I voltados à transição energética e à descarbonização, o projeto

contribui diretamente para o posicionamento do Brasil como referência regional em soluções climáticas baseadas em infraestrutura e inovação. Além disso, fortalece a capacidade nacional de desenvolver tecnologias proprietárias, formar especialistas e atrair investimentos em projetos de baixo carbono, consolidando o papel da Petrobras como agente indutor da transformação energética e da competitividade do país, em um cenário de busca pela descarbonização.

O projeto prevê a captura de aproximadamente **100 mil toneladas de CO₂ por ano** da UTGCAB, localizada em Macaé (RJ). A unidade já conta com um sistema de captura baseado em absorção por aminas, capaz de gerar uma corrente de CO₂ com pureza superior a 99%.

Antes do transporte, essa corrente será desidratada para garantir a integridade dos equipamentos e dutos. O CO₂ será, então, movimentado por meio do gasoduto GASCAB II, já existente, o que representa um diferencial estratégico do projeto ao reduzir custos e acelerar a demonstração integrada do CCS.

Armazenamento geológico: segurança, monitoramento e inovação

Na Estação de Barra do Furado, o CO₂ será comprimido e injetado em um reservatório salino profundo, localizado a aproximadamente 1.300 metros abaixo da superfície. Esse projeto conta com uma estrutura cuidadosamente planejada, composta por:

- **Um poço vertical de injeção e três poços desviados para monitoramento:** Essa configuração permite o acompanhamento contínuo da integridade do reservatório, do comportamento do CO₂ dentro do reservatório e da área que ele irá ocupar durante todo o período de operação com duração de mais 3 anos de acompanhamento da pluma de CO₂.
- **Plano de monitoramento robusto:** Utiliza tecnologias modernas, como a sísmica 4D, para modelar a movimentação do CO₂, estudar os mecanismos geológicos de retenção e realizar simulações numéricas para prever o desempenho do armazenamento ao longo dos anos.
- **Sensores distribuídos por fibra ótica:** Instalados nos poços de injeção e monitoramento, esses equipamentos, junto aos sensores de pressão, temperatura e amostradores de fluido em diferentes profundidades, garantem o acompanhamento detalhado das condições do reservatório.
- **Sistema automatizado de medição de vazão:** Proporciona precisão e rastreabilidade dos volumes de CO₂ injetados, aumentando a segurança e a confiabilidade das operações.
- **Sistemas de segurança operacional:** Incluem mecanismos de alívio de pressão, proteção contra corrosão e monitoramento contínuo da integridade dos dutos e poços, assegurando a estabilidade e o controle de todo o sistema.

Além disso, o projeto será um importante *site* de testes para tecnologias emergentes em CCS.

Figura 12: Representação esquemática do Piloto de CCS Cabiúnas – São Tomé



Fonte: Petrobras

Investimento, parcerias e desenvolvimento científico

O projeto piloto de CCS Cabiúnas–São Tomé está inserido na estratégia de inovação da Petrobras, que reconhece o papel central do PD&I na viabilização da transição energética. De acordo com o Plano Estratégico da companhia, até 2029, cerca de 30% do portfólio de PD&I será direcionado a iniciativas de baixo carbono, com destaque para tecnologias de captura e armazenamento de CO₂, energias renováveis e combustíveis sustentáveis.

Com operação prevista entre 2028 e 2031, o projeto piloto CCS Cabiúnas–São Tomé será um catalisador para o avanço da maturidade tecnológica e da viabilidade

técnica das soluções de CCS no Brasil. O projeto está sendo desenvolvido pelo Cenpes, em parceria com uma rede de universidades e institutos de pesquisa nacionais, incluindo: UENF, UFF, UFRJ, USP e o Observatório Nacional.

Essas instituições serão responsáveis por desenvolver e aplicar metodologias de monitoramento, caracterização do reservatório e validação de tecnologias em condições reais de operação, promovendo, também, a formação de capital humano especializado e a integração entre academia e indústria.

Impacto regulatório e escalabilidade

Além de sua relevância técnica e ambiental, o projeto terá impacto direto sobre o arcabouço regulatório do CCS no Brasil. Em parceria com a ANP e o INEA, o projeto fornecerá subsídios concretos para o aprimoramento das normas e diretrizes que regem a implantação e operação dos projetos de captura e o armazenamento

geológico de CO₂ no país.

A operação em condições reais e controladas permitirá a validação de protocolos de segurança, monitoramento e verificação, contribuindo para a construção de um ambiente regulatório robusto, com segurança jurídica, atratividade para investidores e escalabilidade para futuras iniciativas.

Conclusão: um marco para o Brasil e para o futuro da energia

O projeto piloto CCS Cabiúnas–São Tomé representa mais do que uma validação tecnológica — é um marco para a descarbonização industrial do país com base em inovação, escala e responsabilidade. Ao investir em tecnologias de CCS, a Petrobras reafirma seu papel como agente transformador da transição energética justa, promovendo soluções que combinam excelência técnica, impacto am-

biental positivo e geração de valor para a sociedade.

Com base em sua experiência no Pré-sal, sua capacidade de inovação e sua articulação com a academia, o setor regulador e a indústria, a Petrobras está posicionada para impulsionar a descarbonização no Brasil — e o projeto piloto de CCS Cabiúnas–São Tomé é um passo fundamental nessa direção.

Perspectivas tecnológicas para descarbonização do transporte marítimo

Elaborado por Transpetro

Resumo

Descarbonização e transição energética justa estão ligadas. A Transpetro tem se mostrado comprometida em contribuir com estes processos, os quais tem se mostrado um desafio complexo, buscando equilibrar a logística e o transporte de petróleo com a redução de emissões, o desenvolvimento social e a sustentabilidade ambiental. O transporte marítimo é responsável por mais de 80% do comércio internacional em volume e apresenta a menor intensidade de emissões de GEE por tonelada-quilômetro entre os modais de longa distância. Contudo, enfrenta crescente pressão regulatória para descarbonização, liderada por iniciativas da IMO e regulamentações regionais, como o *Fit for 55*, *EU ETS* e *FuelEU Maritime* na União Europeia. A revisão da estratégia da IMO estabelece neutralidade em emissões de carbono até 2050. A transição para combustíveis alternativos de baixo carbono, como biocombustíveis,

hidrogênio e combustíveis sintéticos, requer investimentos em infraestrutura portuária, logística, adaptação de motores e sistemas, bem como soluções de captura e armazenamento de carbono. Medidas de eficiência energética e digitalização emergem como estratégias essenciais para mitigar custos e otimizar operações durante a transição. No Brasil, a Transpetro se posiciona estrategicamente, integrando ativos logísticos e investindo em renovação de frota com tecnologias de eficiência energética, *dual fuel ready* e *shore power*, além de testes com combustíveis *drop-in*. Esses avanços reforçam seu potencial para atuar como *hub* logístico de abastecimento de baixo carbono. A próxima década será determinante para que empresas combinem inovação, infraestrutura e parcerias estratégicas, visando atender às metas ambientais e manter competitividade no mercado global.

69

Introdução

Inicialmente, importante destacar que na Transpetro e em todo o Sistema Petrobras, a transição energética justa é um tema central. Não se trata apenas de mudar para fontes de energia mais limpas e renováveis, mas fazer isso de uma maneira que garanta que aspectos de segurança energética e inclusão social sejam também equilibrados. Nossos processos de descarbonização estão alinhados a este equilíbrio em todos os aspectos supracitados.

Contextualizando o tema, relevante ressaltar que o transporte marítimo ocupa papel central na economia global, movimentando mais de 80% do volume do comércio internacional (UNCTAD, 2025). Apesar de apresentar a menor intensidade de emissões de GEE

por tonelada-quilômetro entre os modais de transporte para longas distâncias (Bilgili, 2023), o setor enfrenta crescente pressão regulatória, social e econômica para reduzir sua pegada de carbono.

Em 2018, a IMO adotou uma estratégia inicial para a descarbonização do setor marítimo, com uma meta de redução da intensidade de carbono em 40% até 2030 e de 70% até 2050. Mais recentemente, nas reuniões do Comitê Técnico de Proteção do Meio Ambiente Marinho da IMO (MEPC), foi concluída a primeira revisão da sua estratégia para redução de GEE. As ambições para o transporte marítimo internacional aumentaram significativamente, com a previsão de neutralidade nas emissões em 2050.

A estratégia para redução de GEE da IMO aborda agora também as emissões de GEE de todo o ciclo de vida do transporte marítimo, com objetivo de reduzi-las dentro dos limites do sistema energético do transporte marítimo internacional e evitar uma transferência de emissões para outros setores.

Em sua última reunião do comitê de proteção do meio ambiente (MEPC 83), a IMO aprovou o regulamento GHG Fuel intensity (Intensidade de emissões de gases de efeito estufa) que estabelece limites para intensidade de emissão de combustível utilizado pelas embarcações, penalizando financeiramente os armadores que ultrapassarem estes limites.

Na EU, o Parlamento Europeu lançou o Pacto Ecológico Europeu, que é um pacote de iniciativas estratégicas

que visa colocar a UE na via rumo a uma transição energética, com o objetivo último de alcançar a neutralidade climática até 2050.

Entre os atos legislativos desta iniciativa estratégica, o EU ETS e o FuelEU Maritime são os que estabelecem regras para os navios. O EU ETS trata-se de um sistema de limitação e comércio de emissões em que uma quantidade limitada de licenças de emissão é colocada no mercado e pode ser transacionada.

O regulamento FuelEU Maritime tem como objetivo aumentar a quota de combustíveis renováveis com baixo teor de carbono no transporte marítimo internacional.

O regulamento estabelece requisitos para as emissões médias anuais de GEE por unidade de energia utilizada pelo navio.

Descarbonização no transporte marítimo

Para alcance de uma meta tão ambiciosa é fundamental que ocorra uma real e possível transição para combustíveis alternativos de baixo carbono na utilização dos principais equipamentos consumidores de bordo.

O suprimento destes combustíveis demandará uma produção em larga escala, com a indústria adotando variadas opções. A produção destes combustíveis está evoluindo, porém o fornecimento em larga escala está longe de atender a demanda total. Atualmente 93% da frota mundial opera apenas utilizando combustíveis fósseis convencionais (DNV, 2024).

O transporte marítimo internacional requer infraestrutura de abastecimento e combustíveis que estejam globalmente disponíveis e que possuam boa densidade energética, de maneira a maximizar o espaço disponível para as cargas nos navios. Desta forma, a escolha do combustível para o setor requer análise cautelosa, tendo em vista os impactos que podem ser gerados no comércio internacional.

De um ponto de vista puramente tecnológico, vários são os combustíveis potencialmente neutros em carbono e de origem renovável que podem ser uma alternativa aos derivados de petróleo atualmente utilizados (Carvalho, 2021). As possibilidades envolvem desde a utilização direta de óleos vegetais até a pro-

dução de combustíveis sintéticos a partir de H₂ e CO₂ reciclado. Ressalta-se que o Brasil apresenta vantagens potenciais para a produção de biocombustíveis marítimos em razão da disponibilidade de recursos de biomassa e da experiência já existente no país para a produção de biocombustíveis líquidos de maneira relevante, desde a década dos anos 70 do século 20 (Lima, 2013).

Além disso, a presença de recursos renováveis e os baixos fatores de emissão da rede elétrica brasileira são um ponto a favor da produção de combustíveis que envolvam hidrogênio produzido a partir de eletrólise com eletricidade renovável.

Apesar das diferenças tecnológicas, todas essas soluções apresentam desafios comuns: adaptação de motores, sistemas de combustão e armazenamento a bordo, investimentos em infraestrutura de estocagem e abastecimento, garantia de fornecimento em escala e competitividade de custos.

A captura e armazenamento de carbono (CCS) proveniente do uso de combustíveis fósseis também pode contribuir significativamente para a descarbonização do transporte marítimo. Porém, é necessário desenvolver infraestruturas para o manuseamento e armazenamento de CO₂.

A redução das emissões também pode ser obtida através da utilização de energia elétrica em terra, conectada ao navio. De acordo com estudos do parlamento europeu, até 7% do consumo total de energia dos navios poderia ser suprido por este tipo de fonte elétrica, enquanto atracado nos portos, se a capacidade de energia elétrica em terra fosse suficiente e todos os na-

vios tivessem capacidade para utilizá-la. A eletrificação total demanda ampliação no fornecimento de energia elétrica nos portos e principalmente, avanços tecnológicos para produção de baterias mais eficientes, tendo em vista a baixa capacidade de armazenamento de energia diante da demanda para movimentar grandes embarcações por longas distâncias.

Eficiência energética e digitalização

Os regulamentos internacionais impõem ao setor marítimo metas progressivas de descarbonização, com horizonte final em 2050. No entanto, a transição energética deverá ocorrer de forma gradual, provavelmente em um ritmo mais lento do que as exigências normativas estabelecem.

Durante esse período de adaptação, é esperado que os combustíveis – especialmente aqueles de baixo carbono – apresentem custos mais elevados, impactando diretamente a competitividade e a operação das empresas. Nesse contexto, a adoção de medidas de eficiência energética torna-se fundamental não apenas para alcançar as metas de curto prazo previstas pela regulamentação, mas também para mitigar os impactos financeiros decorrentes do uso de combustíveis alternativos mais caros.

Fatores como a condição operacional dos equipamentos, incrustações no casco e na hélice, afetam o consumo de combustível de um navio e, consequentemente, suas emissões de GEE. O consumo de combustível

durante uma viagem também é influenciado por fatores dinâmicos, como condições meteorológicas, velocidade, rota e correntes.

A utilização dos dados da embarcação e dos seus sistemas, combinada com dados meteorológicos sofisticados, e uma maior capacidade de processar grandes conjuntos de dados, pode ser utilizada para potencializar a viagem.

Além de possibilitar a otimização da rota, o uso da potência de propulsão ideal em diferentes condições ambientais pode reduzir o consumo de combustível. Neste caso, a coleta e processamento dos dados ambientais e de potência do motor pode prever e controlar a potência de propulsão ideal em tempo real, levando em consideração as condições ambientais à frente. É possível também diagnosticar ineficiências causadas por incrustações no casco e no propulsor de forma antecipada resultando numa ação corretiva para restabelecimento da condição ideal.

A Transpetro no contexto da transição energética

A Transpetro é a maior empresa de logística para os segmentos de óleo, gás e biocombustíveis da América Latina. Atua na logística de combustíveis no Brasil e nas operações de importação e exportação de petróleo e derivados, gás e biocombustíveis, operando oleodutos e gasodutos, terminais e navios. Tem como objetivo estratégico ampliar sua participação no mercado e, para isso, lançou o Programa de Renovação e Ampliação da Frota própria do Sistema Petrobras (TP 25), que prevê a aquisição de 25 novas embarcações para ampliar a capacidade logística da Transpetro na atividade de

cabotagem de petróleo e derivados.

Para a Transpetro, a transição energética é uma oportunidade estratégica para ampliação de suas operações. A presença de terminais, dutos e tanques já integrados à operação pode ser aproveitada para distribuir diferentes combustíveis, não apenas para atender à frota própria, mas também para abastecer embarcações de terceiros. Assim, a empresa pode se tornar um *hub* logístico de abastecimento de baixo carbono, fortalecendo seu papel no mercado interno e no comércio marítimo global, transportando combustíveis por meio de navios.

Descarbonização de suas operações

A Transpetro possui um programa de eficiência energética de embarcações. Desde seu início já investiu R\$ 35 milhões em projetos de eficiência energética e está sendo projetado um investimento adicional de R\$ 48 milhões nos próximos anos.

Já foram implementados mais de 100 dispositivos de eficiência energética em suas 26 embarcações da frota própria, entre eles, apêndices hidrodinâmicos, tinta anti-incrustante, sistemas para otimização de *trim*, e sistema para otimização da combustão nos motores de combustão principal.

Apêndices hidrodinâmicos (*Energy Saving Devices* em inglês) são dispositivos/aletas instalados na parte submersa dos cascos com o objetivo de melhorar o escoamento, principalmente na região de popa, e aumentar a eficiência do sistema propulsivo. Tais apêndices podem ser instalados no casco, no propulsor ou no leme e podem produzir uma uniformização do escoamento que chega ao propulsor (aumento de eficiência) ou reduzindo as parcelas da resistência ao avanço do navio.

Uma das principais causas da perda de eficiência energética de navios é causada pelo aumento da resistência ao avanço causado por incrustações. O principal objetivo das tintas *anti fouling* é minimizar eficazmente o crescimento de incrustações biológicas durante o intervalo de serviço entre docagens.

Dependendo do tipo de revestimento de alto desempenho, da preparação da superfície e da qualidade da aplicação da tinta, os revestimentos de alto desempenho também podem melhorar o desempenho fora da doca de uma embarcação.

Sistemas de otimização de *trim* (inclinação da embarcação para qualquer das extremidades), são softwares capazes de definir um valor ótimo, a partir das condições do plano de carga, calados do navio (distância vertical entre a linha de superfície da água e a parte mais baixa do casco de uma embarcação) e velocidade instruída pelo afretador, os quais resultam em menor potência re-

querida que, por sua vez, irá resultar em menor consumo de combustível, e assim, menor emissão de GEE.

Motores de Combustão principal são os motores responsáveis pela propulsão do navio. Sistemas de otimização de combustão funcionam para garantir que a pressão ideal do cilindro, ajustando o tempo de injeção de combustível e a abertura da válvula de escape.

Figura 13: Apêndice Hidrodinâmico - Tipo de Propulsor

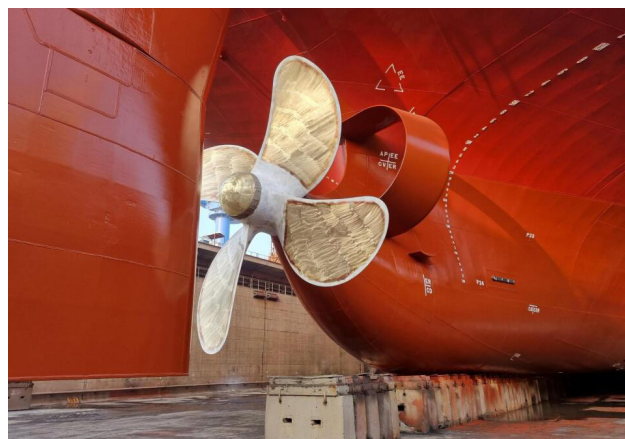
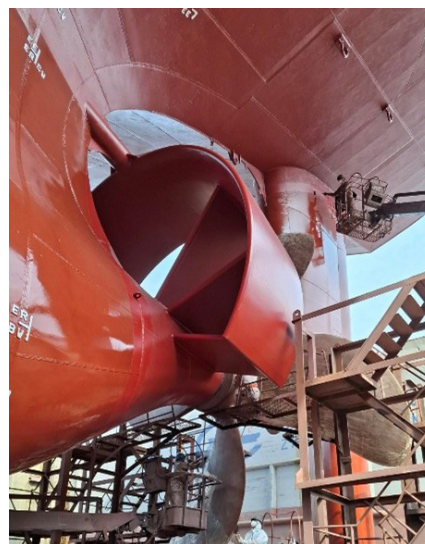


Figura 14: Apêndice Hidrodinâmico - Tipo Casco



Fonte: Transpetro

Por meio do seu departamento de eficiência energética a Transpetro realiza gestão ativa da eficiência das suas embarcações instruindo ações para correção nos desvios.

Com o progresso do programa de eficiência energética, evoluímos para 18.130 ton CO₂ evitadas em 2024, em oposição a 13.200 ton de CO₂ evitadas em 2023 somente computando a implementação das tecnologias.

No período compreendido entre 2022 e 2024, as emissões absolutas na frota computaram uma redução de 8,4%.

Para os navios do seu atual programa de renovação da frota, a especificação de construção conta com as melhores práticas do mercado na implementação de tecnologias de eficiência energética.

Para a primeira classe de navios da frota própria a serem construídos, assim como os novos navios de posicionamento dinâmico que serão recebidos, o projeto prevê motores de propulsão principal com notação de classe Dual Fuel Ready Etanol/Metanol, que significa que tais navios estarão preparados para conversão,

possibilitando a utilização destes combustíveis sustentáveis.

A especificação de construção da nova frota também prevê um sistema para recebimento de energia elétrica de terra nos portos chamado *Onshore Power Supply*. Este tipo de instalação permite o desligamento dos grupo-geradores das embarcações durante as operações, reduzindo emissões de gases poluentes nas áreas portuárias.

Além disso a especificação inclui a notação SMARTSHIP, focada em soluções digitais projetadas para coletar, armazenar, processar, analisar e transmitir dados do navio, promovendo a melhoria da gestão energética e de manutenção.

Adicionalmente, em conjunto com outras áreas do Sistema Petrobras, para sua frota existente, a Transpetro aposta no uso de combustível *Drop-in*. Recentemente, utilizou o combustível B24, bunker com parcela de Biodiesel na fração de 24%, e se prepara para receber e utilizar o B30 em sua próxima operação na Europa.

Conclusão

A transição energética justa e a descarbonização têm se mostrado como desafios complexos. Contudo, a Transpetro, assim como todo o Sistema Petrobras, está comprometida em liderar esse processo, buscando equilibrar o negócio e transporte de petróleo com a redução de emissões, o desenvolvimento social, segurança energética e a sustentabilidade ambiental.

A descarbonização do transporte marítimo é um movimento importante, impulsionado por regulamentações internacionais, demandas de mercado e compromissos corporativos com a sustentabilidade. Para alcançar esse objetivo, será necessária uma abordagem integrada que combine combustíveis de baixo carbono, infraestrutura

adaptada, tecnologias de eficiência energética e soluções digitais.

Para a Transpetro, esse processo faz parte de sua estratégia para expansão de negócios. A capacidade de integrar ativos — dutos, tanques, terminais e frota — oferece vantagens únicas para liderar soluções logísticas e energéticas no novo cenário global.

A próxima década será decisiva. Organizações que investirem desde já em inovação tecnológica e decisões estratégicas terão mais chances de não apenas atender às metas ambientais, assim como consolidar sua relevância e competitividade na logística marítima de baixo carbono.

Referências Bibliográficas

ANP. Agenda Regulatória 2022–2024. Rio de Janeiro: ANP, 2022.

ANP. Agenda Regulatória 2025–2026. Rio de Janeiro: ANP, 2025.

ANP. Implementação do marco regulatório de hidrogênio de baixa emissão de carbono no Brasil. Rio de Janeiro: ANP, 2024.

ANP. Relatório sobre a implementação do marco regulatório de CCUS no país. Rio de Janeiro: ANP, 2024.

ANP. Resolução de Diretoria nº 256, de 25 de abril de 2024. Rio de Janeiro: ANP, 2024.

ANP. Resolução de Diretoria nº 859, de 19 de dezembro de 2024. Rio de Janeiro: ANP, 2024.

BRASIL. Lei nº 14.902, de 12 de junho de 2024. Institui o Programa Mobilidade Verde e Inovação (Mover). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 jun. 2024.

BRASIL. Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024. Institui o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 5 ago. 2024.

BRASIL. Lei nº 14.993, de 28 de agosto de 2024. Institui o marco legal do Combustível do Futuro. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 29 ago. 2024.

BRASIL. Lei nº 15.042, de 18 de novembro de 2024. Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 19 nov. 2024.

BRASIL. Lei nº 15.097, de 15 de março de 2025. Estabelece o marco legal da geração de energia elétrica offshore. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 17 mar. 2025.

BRASIL. Lei nº 15.103, de 5 de abril de 2025. Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (PATEN). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 abr. 2025.

CENERGIA. Prospects for carbon-neutral maritime fuels production in Brazil. Rio de Janeiro: UFRJ/Programa de Planejamento Energético, 2021.

CNEN. Relatórios institucionais sobre programas nucleares brasileiros. Brasília: CNEN, 2024.

CNPq; INCT. Reatores modulares e inovadores: projeto de pesquisa nacional. Brasília: CNPq/INCT, 2024.

CNPE. Resolução nº 5, de 26 de agosto de 2024. Brasília: CNPE, 2024.

DNV. Maritime forecast. Oslo: DNV, 2024.

ENEL; DELOITTE. Caminhos para a Transição Energética no Brasil. São Paulo: Enel/Deloitte, 2022.

ENEL. Relatório de Sustentabilidade 2024. São Paulo: Enel, 2024.

ENEL DISTRIBUIÇÃO RIO. Comunicados oficiais e plano de investimentos 2024/2025. Rio de Janeiro: Enel, 2025.

EPE. Balanço Energético Nacional 2015 (ano-base 2014). Rio de Janeiro: EPE, 2015.

EPE. Balanço Energético Nacional 2025 (ano-base 2024). Rio de Janeiro: EPE, 2025.

EPE. Balanço Energético Nacional (BEN): Relatório Síntese 2025 (ano-base 2024). Rio de Janeiro: EPE, 2025.

FIRJAN. Panorama de Investimentos 2025–2027. Rio de Janeiro: Firjan, 2025.

FIRJAN. PIB Rio de Janeiro 2024: Resultados e Perspectivas. Rio de Janeiro: Firjan, 2024.

IAEA. Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050 (RDS-1). Viena: IAEA, 2024.

IAEA. Human Resource Development for Small Modular Reactor Programmes. Buenos Aires: IAEA, 2025a.

IAEA. Global Status of Small Modular Reactor Development and Deployment. Viena: IAEA, 2025b.

IEA. Electricity 2025: Analysis and forecast to 2027. Paris: IEA, 2025.

IEA. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. Paris: IEA, 2021.

IMO. International Shipping Facts. Londres: IMO, 2024. Disponível em: <https://www.imo.org/en/About/Pages/Shipping-Facts.aspx>. Acesso em: 15 ago. 2025.

IPT. Cidades Circulares. São Paulo: IPT, 2023.

MARINHA DO BRASIL. Programa Nuclear da Marinha – LABGENE e Submarino Nuclear Brasileiro. Brasília: Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha (DGDNTM), 2024.

OCDE. Shipping Emissions in Ports. Paris: International Transport Forum/OCDE, 2024.

ONU. Documentos oficiais das COP29 (Baku, 2024) e COP30 (Belém, 2025). Bonn: UNFCCC, 2024/2025.

ONU. Shipping data: UNCTAD releases new seaborne trade statistics. Genebra: UNCTAD, 2025. Disponível em: <https://unctad.org/news/shipping-data-unctad-releases-new-seaborne-trade-statistics>. Acesso em: 15 ago. 2025.

