



TRANSIÇÃO ENERGÉTICA:

**energia limpa e o futuro
sustentável do Brasil**

Sumário

Introdução	03
Panorama ambiental	06
Viabilidade econômica	15
Aspectos regulatórios e legais da transição energética	25
Impacto social da transição energética	49
O papel do gás natural na transição energética	64
Setor sucroenergético	71
Eletromobilidade	82
Energia renovável: fundamentos, importância e caminhos para o futuro	90
Energia solar: a base da transição energética	94
Energia eólica: potencial e inovações	100
Biomassa e biogás: uso de resíduos e produção no Brasil	106
Hidrogênio verde: potencial e tecnologias	113
Avanços tecnológicos e o futuro das energias renováveis	118
Políticas e incentivos para energias renováveis	124
Encerramento e considerações finais	149
Contato	151

Introdução

Cenários para a transição energética no Brasil

A transição energética global é um dos maiores desafios e, ao mesmo tempo, uma das mais promissoras oportunidades técnicas e econômicas deste século. Impulsionada pela necessidade urgente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), essa mudança está diretamente relacionada aos compromissos assumidos no Acordo de Paris, cujo objetivo é limitar o aumento da temperatura média global abaixo de 2 °C em relação aos níveis pré-industriais, com esforços adicionais para restringi-lo a 1,5 °C.

No Brasil, o cenário da transição energética apresenta características próprias. O país possui uma matriz elétrica predominantemente renovável, com destaque para a geração hidrelétrica (58,9%), seguida pela fotovoltaica (22%) e eólica (10,9%). Apesar do avanço expressivo, essas fontes enfrentam o desafio da intermitência e da vulnerabilidade a eventos climáticos extremos, o que exige a diversificação da matriz e a incorporação de tecnologias de armazenamento de energia.

O Brasil também se destaca pelo uso de biocombustíveis, especialmente o etanol da cana-de-açúcar, e mais recentemente pela posição estratégica que ocupa no desenvolvimento do hidrogênio verde. Com abundância de recursos naturais, ambiente favorável à geração renovável e avanços tecnológicos, o país está bem posicionado para liderar iniciativas globais de descarbonização.



Impacto da transição energética para empresas e setores

A transição energética traz impactos profundos sobre diversos setores da economia. Para as empresas, representa uma oportunidade de diferenciação estratégica, ao mesmo tempo em que impõe desafios operacionais, regulatórios e tecnológicos. A adoção de práticas sustentáveis pode fortalecer a reputação corporativa, atrair investimentos alinhados aos princípios ESG e abrir novos mercados. Setores como a siderurgia e a indústria do cimento, altamente emissores de CO₂, enfrentam uma necessidade urgente de inovar seus processos com o uso de tecnologias como fornos elétricos, coprocessamento, captura e armazenamento de carbono (CCS), entre outras soluções.

O setor de serviços também é beneficiado com a geração de empregos qualificados em áreas como energia solar, eólica, eficiência energética e digitalização de redes. Além disso, a necessidade de infraestrutura para energia limpa pode atrair capitais públicos e privados, fomentando cadeias produtivas e fortalecendo a economia nacional.

Objetivos

Este e-book tem como objetivo apresentar uma visão abrangente e atualizada sobre a transição energética, com ênfase no contexto brasileiro, analisando seus impactos ambientais, econômicos, sociais, regulatórios e tecnológicos. A proposta é explorar os desafios e oportunidades dessa transformação, destacando o papel das empresas, da sociedade e do poder público na construção de uma matriz energética mais limpa, segura e sustentável.

O conteúdo está estruturado de forma temática e colaborativa, reunindo especialistas e instituições de referência em cada área abordada. A seguir, apresentamos a organização do e-book:

Introdução: apresenta o contexto global e nacional da transição energética, seu impacto nos diversos setores e os objetivos deste material.

Panorama ambiental: explora a relação entre mudanças climáticas, neutralidade de carbono e a sustentabilidade da matriz energética brasileira.

Viabilidade econômica: analisa os custos, benefícios e mecanismos de financiamento que viabilizam economicamente a transição energética.

Aspectos regulatórios e legais: discute as políticas públicas, leis e regulamentações que sustentam a transição energética no Brasil.

Impacto social da transição energética: aborda os benefícios sociais da transição, incluindo geração de empregos, qualidade de vida e inclusão.

O papel do gás natural na transição energética: avalia o papel estratégico do gás natural como fonte de apoio na transição para uma matriz mais limpa.

Setor sucroenergético: explora a contribuição da cana-de-açúcar para a energia renovável e o desenvolvimento sustentável no Brasil.

Eletromobilidade: analisa a expansão dos veículos elétricos, infraestrutura, inovações e impactos no setor energético.

Energia renovável: explora em profundidade as principais fontes renováveis, seus desafios e potencial no Brasil.

[Clique aqui e fale conosco](#)



The background is a solid light green color. There are two large, thick, white curved shapes that resemble stylized 'C' or 'G' characters. One is in the top right corner, and the other is in the bottom left corner.

Panorama ambiental

Mudanças climáticas e neutralidade de carbono

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), as mudanças climáticas referem-se a variações significativas e duradouras nos padrões climáticos globais e regionais, causadas principalmente pelas atividades humanas que aumentam a concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Esses gases, como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxidos de nitrogênio (NO_x), resultam da queima de combustíveis fósseis, desmatamento e processos industriais intensivos.

As mudanças climáticas geram riscos ambientais, econômicos e sociais severos, incluindo o aumento da frequência de eventos climáticos extremos, impactos sobre a biodiversidade e o deslocamento de populações devido à elevação do nível do mar. Nesse contexto, a transição energética se apresenta como uma resposta essencial, buscando reduzir as emissões por meio da adoção de fontes de energia renováveis, como solar, eólica e hidrelétrica, contribuindo para mitigar o aquecimento global.

A neutralidade de carbono refere-se ao equilíbrio entre as emissões de CO_2 e sua remoção da atmosfera. Esse processo envolve práticas sustentáveis, tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS) e projetos de compensação de emissões. As tecnologias de CCS capturam o CO_2 emitido por processos industriais e usinas de geração de energia, armazenando-o em formações geológicas profundas para evitar sua liberação na atmosfera.



O mercado de créditos de carbono, que viabiliza a comercialização de reduções de emissões, tem crescido no Brasil, especialmente após a promulgação da Lei nº 15.042/2024. O país possui grande potencial nesse setor devido à sua biodiversidade e às iniciativas de conservação florestal, com estados como Acre, Amazonas e Pará já estruturando programas para a emissão de créditos florestais.

A efetividade desses instrumentos exige engajamento entre governos, setor privado e sociedade civil, aliados a investimentos constantes em inovação, regulação e tecnologia.

Matriz energética brasileira

A transição energética visa substituir fontes baseadas em combustíveis fósseis por fontes limpas e sustentáveis. Globalmente, a matriz energética ainda é dominada por fontes não renováveis, como petróleo (30,2%), carvão (27,6%) e gás natural (23,1%). Em contraste, o Brasil apresenta uma matriz significativamente mais limpa, com aproximadamente 47,4% de fontes renováveis, frente aos 14,3% da média mundial.

Tabela 1 - Comparação da matriz energética: Brasil e mundo (2022)*

	Renováveis	Não renováveis
Brasil	47,4%	52,7%
Mundo	14,3%	85,7%

Essa diferença é ainda mais acentuada quando analisamos a matriz elétrica. Atualmente, mais de 80% da eletricidade gerada no Brasil vem de fontes renováveis, principalmente hidrelétrica, solar e eólica. No entanto, essas fontes também apresentam limitações, como a intermitência e a dependência de condições climáticas.

Tabela 2 - Matriz elétrica brasileira (2023)*

Fonte de energia	Participação (%)
Hidráulica	58,9%
Eólica	13,2%
Solar	7,0%
Gás natural	5,3%
Bagaço de cana	5,1%
Lixívia ou licor negro	2,1%
Importação líquida	2,1%
Nuclear	2,0%
Carvão	1,2%
Óleo <i>diesel</i>	0,6%
Outras renováveis	0,8%
Outras não renováveis	1,6%

Para mitigar esses desafios e garantir a confiabilidade do sistema, o Brasil tem apostado na diversificação com a inclusão do gás natural como fonte de apoio, proporcionando flexibilidade e estabilidade à rede. A combinação entre fontes renováveis e tecnologias de suporte é essencial para assegurar o suprimento energético diante de variações de demanda e oferta.

* Fonte: EPE



Sustentabilidade das fontes renováveis

A sustentabilidade das fontes renováveis é um pilar essencial para o futuro da energia. Fontes como solar, eólica, hidráulica e biomassa são fundamentais para uma matriz de baixo carbono, pois oferecem soluções menos poluentes e mais alinhadas à conservação ambiental.

Além disso, essas fontes proporcionam benefícios econômicos e sociais, como a geração de empregos verdes, a redução da dependência de combustíveis importados e a descentralização da produção de energia. No entanto, desafios como a intermitência e a necessidade de modernização da infraestrutura elétrica ainda requerem soluções técnicas e regulatórias.

A adoção de sistemas de armazenamento, como baterias de grande capacidade, e a digitalização das redes de distribuição são algumas das medidas que vão permitir maior integração das renováveis ao sistema.

Com o avanço tecnológico e o apoio de políticas públicas, as fontes renováveis tendem a se tornar cada vez mais competitivas, contribuindo para uma matriz energética segura, limpa e resiliente.

Hidrogênio verde: potencial e tecnologias

O hidrogênio verde (H_2V) é uma alternativa limpa e promissora para a descarbonização da economia global, produzido por eletrólise da água com eletricidade gerada por fontes renováveis, sem emissão de CO_2 . Entre as principais tecnologias de eletrólise estão a alcalina (mais madura e barata), a de membrana de troca de prótons (mais eficiente, porém mais cara) e a de óxido sólido (ainda em desenvolvimento, mas com alta eficiência).

As principais tecnologias de eletrólise atualmente em desenvolvimento e aplicação comercial são:

Eletrólise Alcalina (AWE - *Alkaline Water Electrolysis*): trata-se da tecnologia mais madura e amplamente utilizada comercialmente. Utiliza uma solução alcalina (hidróxido de potássio) como eletrólito e eletrodos separados por um diafragma. É caracterizada por sua confiabilidade, longa vida útil e custos relativamente baixos. No entanto, possui menor flexibilidade operacional e resposta lenta a variações de carga, o que pode limitar sua integração com fontes intermitentes de energia renovável.

Eletrólise de Membrana de Troca de Prótons (PEM - *Proton Exchange Membrane*): utiliza uma membrana polimérica sólida como eletrólito, permitindo operação em pressões mais altas e resposta mais rápida à variação de carga. Isso a torna ideal para aplicações acopladas a fontes renováveis. Embora apresente maior densidade de corrente e compactação, seus custos são mais elevados devido ao uso de materiais nobres como platina e irídio.

Eletrólise de Óxido Sólido (SOEC - *Solid Oxide Electrolysis Cell*): opera em altas temperaturas ($700-1000^{\circ}C$) e utiliza um eletrólito cerâmico sólido. Tem como vantagem a alta eficiência energética, especialmente quando o calor residual pode ser aproveitado, sendo promissora para integração em processos industriais. Contudo, está em estágios menos avançados de comercialização e enfrenta desafios relacionados à durabilidade dos materiais e à complexidade de operação.

O hidrogênio verde apresenta grande potencial para substituir combustíveis fósseis em setores de difícil eletrificação, como a indústria pesada (cimento, aço e química), transporte de longa distância (aviões, navios e caminhões) e armazenamento energético de longo prazo. Seu uso contribui diretamente para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e para o alcance das metas de neutralidade de carbono.

Para viabilizar o transporte e o armazenamento do hidrogênio em larga escala, especialmente em rotas de exportação ou em regiões distantes dos pontos de produção, são utilizados os chamados carreadores de hidrogênio (*hydrogen carriers*). Os três principais atualmente considerados são:

Amônia (NH_3): é um dos carreadores mais promissores devido à sua elevada densidade de hidrogênio, facilidade de liquefação sob condições moderadas de pressão e temperatura, e infraestrutura já existente para transporte e manuseio. A amônia pode ser usada diretamente como combustível em algumas aplicações ou reconvertida em hidrogênio por meio de processos de *cracking*. É amplamente estudada como vetor para exportação de hidrogênio verde, inclusive no Brasil.

Metanol (CH_3OH): outro carreador líquido com boa densidade energética e infraestrutura estabelecida. Pode ser produzido a partir do hidrogênio verde e do CO_2 capturado, resultando em um combustível líquido sintético com baixo teor de carbono (e-metanol). Além de sua aplicação como combustível direto em motores e células a combustível, o metanol também pode ser reconvertido em hidrogênio.

LOHC (*Liquid Organic Hydrogen Carriers*): são compostos orgânicos líquidos capazes de absorver e liberar hidrogênio por meio de reações químicas reversíveis. Destacam-se pela segurança no manuseio, já que permanecem líquidos sob condições ambientes, e pela possibilidade de utilizar a infraestrutura de combustíveis líquidos. Apesar disso, os processos de carga e descarga ainda exigem altas temperaturas e enfrentam desafios tecnológicos e econômicos para maior adoção.

O Brasil está estrategicamente posicionado para liderar o desenvolvimento do H_2V , graças à abundância de fontes renováveis e à *expertise* consolidada em energia elétrica e exportação de *commodities*. Projetos em curso nos estados do Ceará, Bahia, Pernambuco, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul buscam transformar o país em um *hub* exportador de hidrogênio verde e derivados, como a amônia verde e o e-metanol.

Além disso, portos como o de Pecém (CE), Suape (PE) e Açu (RJ) têm se destacado como potenciais polos logísticos para a produção e escoamento internacional dessa nova cadeia de valor. Esses empreendimentos contam com a participação de empresas nacionais e internacionais e têm despertado interesse de investidores e governos estrangeiros.

Apesar de seu enorme potencial, o hidrogênio verde ainda enfrenta desafios significativos, como o alto custo da tecnologia de eletrólise, a necessidade de investimentos em infraestrutura, e a criação de um marco regulatório específico. Questões como escalabilidade da produção, segurança no transporte e eficiência no armazenamento também merecem atenção.

Por outro lado, as perspectivas são positivas. Com a redução dos custos das energias renováveis, o avanço tecnológico dos eletrolisadores e o crescente interesse internacional, espera-se que o H₂V se torne competitivo em larga escala nos próximos anos.





A Sener, uma empresa privada de engenharia de origem espanhola com mais de 60 anos de expertise no mercado global. Atuamos com soluções tecnológicas inovadoras em setores estratégicos como infraestrutura, energy, aeroespacial, defesa e data centers.

No mercado brasileiro, a Sener tem como foco principal os setores de energia e mobilidade, oferecendo soluções inovadoras e sustentáveis.

Na área de energia, a Sener atua no desenvolvimento de projetos voltados para a transição energética e a sustentabilidade, com ênfase em:

- Hidrogênio e carriers;
- Economia circular;
- Gás;
- Energia;
- Fontes renováveis e sistemas de armazenamento;
- Energia eólica e energias marinhas;
- Indústria sustentável.

Já no setor de mobilidade, a empresa contribui com projetos que promovem a modernização da infraestrutura de transporte no país, abrangendo:

- Ferrovias;
- Metrô leves e bondes;
- Estradas e rodovias;
- Aeroportos;
- Portos;
- Consultoria em novas tecnologias;
- Arquitetura;
- Água e meio ambiente.

Com uma sólida presença global, a Sener está presente em 41 países com diversos projetos, com escritórios em 18 países e mais de 4.000 colaboradores.

The background is a solid light green color. It features two large, thick, dark green curved shapes. One shape is in the top right corner, curving from the top edge towards the right. The other shape is in the bottom left corner, curving from the bottom edge towards the left. These shapes create a sense of movement and depth.

Viabilidade econômica

Financiamento da transição energética no Brasil: competitividade, custos, sustentabilidade e retorno sobre investimento

A transição energética é um dos maiores desafios globais do século 21. O Brasil, com seu vasto potencial de fontes renováveis, está bem posicionado para liderar esse movimento. No entanto, para que essa transição seja viável, é essencial um modelo de financiamento, que equilibre competitividade, custos, sustentabilidade e retorno sobre investimento. Este artigo analisa esses quatro pilares fundamentais para entender a viabilidade econômica e estratégica do financiamento da transição energética no Brasil.

1. Competitividade e lucratividade

O Brasil se destaca no cenário global por sua matriz energética majoritariamente renovável: em 2023, 93,1% da energia gerada no país veio de fontes limpas, como hidrelétricas, eólicas, solares e biomassa. Essa característica posiciona o país como líder em energia sustentável e atrativo para investimentos no setor. A abundância de recursos naturais, como sol e vento, combinada à infraestrutura já existente em algumas regiões, fortalece a competitividade brasileira no mercado global de energia limpa, especialmente em um contexto de crescente demanda por descarbonização.

Além do impacto ambiental positivo, a transição energética representa uma oportunidade estratégica para o desenvolvimento econômico. A expansão das fontes renováveis pode gerar milhões de empregos verdes, especialmente em setores como construção e manutenção de parques eólicos, instalação de painéis solares e produção de biomassa. Tais empregos têm o potencial de dinamizar economias regionais, sobretudo em áreas rurais e no Nordeste, onde as condições climáticas são particularmente favoráveis. Em 2023, o Nordeste respondeu por mais de 90% da produção de energia eólica do país e liderou a geração solar fotovoltaica.

Outro benefício importante é a redução da dependência de combustíveis fósseis importados, que ainda representam um peso econômico e estratégico para o Brasil. O aumento da participação de fontes renováveis pode reduzir essa vulnerabilidade, economizar divisas e blindar o país contra oscilações do mercado internacional de petróleo e gás. Tecnologias emergentes, como o hidrogênio verde, que depende diretamente de energia limpa, representam outra frente promissora, com potencial para inserir o Brasil entre os protagonistas do novo mercado energético global.

Contudo, transformar esse potencial em realidade exige enfrentar desafios estruturais e regulatórios. O ambiente de negócios ainda carece de maior estabilidade e previsibilidade. Investidores (nacionais e estrangeiros) buscam segurança jurídica para garantir a viabilidade de seus aportes no longo prazo. A ausência de incentivos fiscais direcionados à energia renovável em algumas regiões também limita uma expansão mais acelerada. Um exemplo positivo é a regulamentação do mercado de carbono, que pode atrair novos investimentos ao alinhar interesses econômicos e ambientais.

A criação de políticas públicas consistentes e a promoção de parcerias público-privadas também são essenciais. Programas como o Proinfa, que incentivou a diversificação da matriz energética no início dos anos 2000, precisam ser atualizados para responder aos desafios atuais. Investimentos em inovação tecnológica, como redes inteligentes e sistemas de armazenamento, também são essenciais para garantir uma expansão eficiente e resiliente das fontes renováveis.

Por fim, o Brasil pode ir além do consumo e tornar-se um exportador de tecnologias limpas. A *expertise* acumulada em energias renováveis, aliada à capacidade de produzir energia a custos competitivos, oferece ao país a possibilidade de se destacar não apenas como consumidor, mas também como fornecedor global. Exportar turbinas eólicas, sistemas fotovoltaicos e *expertise* técnica pode gerar um novo fluxo de receitas, ampliando a relevância do país na transição energética global.

O Brasil possui todos os elementos para liderar a revolução energética do século 21. Para isso, é preciso promover ações coordenadas entre governo, setor privado e sociedade civil. Investir em estabilidade regulatória, inovação e capacitação não apenas

garantirá uma matriz energética ainda mais limpa e diversificada, mas também lançará as bases para um modelo de desenvolvimento econômico sustentável e inclusivo. O momento de agir é agora, aproveitando o potencial renovável do país para impulsionar um futuro mais verde e promissor.



2. Custos e benefícios de energia renovável

Os custos e benefícios da energia renovável posicionam o Brasil entre os líderes mundiais da transição energética, impulsionado por condições naturais favoráveis e políticas de incentivo ao setor. O Custo Nivelado de Energia (LCOE), métrica que avalia a competitividade econômica das diferentes fontes, coloca o país em vantagem, especialmente no que diz respeito à energia solar e eólica. Essas fontes oferecem os menores custos do mercado nacional e seguem competitivas mesmo diante de oscilações econômicas e do cenário global.

A energia solar, por exemplo, se beneficia da alta incidência de radiação em diversas regiões do território brasileiro, o que garante maior eficiência na geração elétrica. A energia eólica, por sua vez, apresenta um dos melhores fatores de capacidade do mundo, com ventos constantes e de qualidade, sobretudo no Nordeste, onde esse índice frequentemente ultrapassa 50%. Essa elevada eficiência é essencial para garantir retorno sobre os investimentos e redução dos custos ao consumidor final.

Além do aspecto econômico, a energia renovável tem um impacto ambiental extremamente positivo. Em 2023, o Brasil registrou um índice de emissão de carbono de apenas 38,5 kg de CO₂ por megawatt-hora (MWh) gerado, um dos mais baixos globalmente. Esse dado evidencia a contribuição significativa das fontes limpas na matriz energética nacional, ao mesmo tempo em que reforça o compromisso do país com os acordos internacionais de descarbonização, como o Acordo de Paris.

No aspecto social, a expansão de fontes renováveis tem provocado impactos igualmente positivos. A instalação de parques solares e eólicos em regiões menos desenvolvidas tem gerado milhares de empregos, estimulando economias locais e promovendo inclusão social. Projetos de geração distribuída também têm democratizado o acesso à energia, permitindo que pequenos consumidores, como famílias e microempresas, participem da produção e se beneficiem financeiramente dessa transformação.

Em comparação com países como Estados Unidos e Alemanha, que também apostam fortemente em energias renováveis, o Brasil apresenta vantagens naturais que tornam sua energia mais competitiva. Esses países enfrentam desafios climáticos, como menor incidência solar ou ventos irregulares, o que os obriga a investir mais em tecnologias e subsídios. Esse contraste evidencia a importância de o Brasil manter sua liderança, aproveitando suas vantagens naturais com políticas e investimentos estratégicos.

A transição energética brasileira, embora promissora, não é isenta de desafios. A infraestrutura de transmissão precisa ser modernizada para evitar perdas de energia, especialmente em áreas remotas, onde estão localizadas muitas usinas renováveis. Além disso, é fundamental atrair mais investimentos privados para garantir a expansão contínua do setor e consolidar sua importância estratégica para o desenvolvimento sustentável do país.

3. Financiamento sustentável

O financiamento sustentável tem se consolidado como um pilar essencial para viabilizar a transição energética e cumprir as metas climáticas globais. No Brasil, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) desponta como protagonista nesse cenário, consolidando-se como o maior financiador de fontes renováveis no mundo. Em 2023, a instituição destinou R\$ 116 bilhões a projetos do setor, com mais da metade desse montante investido diretamente em iniciativas sustentáveis, reafirmando seu compromisso com a transformação da matriz energética nacional.

Apesar do volume expressivo de recursos, o desafio de ampliar o acesso a financiamentos ainda persiste, especialmente para projetos de menor escala. Soluções como a geração distribuída, que democratiza o acesso à energia limpa, e iniciativas comunitárias, com grande potencial para promover inclusão social e resiliência energética, enfrentam barreiras significativas para obtenção de capital. Esses projetos, frequentemente operados por pequenos empreendedores ou cooperativas, demandam modelos de financiamento mais inclusivos, acessíveis e simplificados.

Nesse contexto, as instituições financeiras têm um papel estratégico e devem incorporar cada vez mais critérios ESG (ambientais, sociais e de governança) em suas políticas de crédito. A adoção desses critérios assegura que os recursos sejam direcionados a empreendimentos alinhados às metas de sustentabilidade e ainda contribui para reduzir riscos financeiros e reputacionais. Além disso, ao adotar tais critérios, os bancos podem fomentar uma mudança estrutural no mercado, incentivando empreendedores a adotar práticas mais responsáveis e sustentáveis.



Outro aspecto fundamental do financiamento sustentável é o desenvolvimento de mecanismos financeiros inovadores que facilitem a captação de recursos. O mercado de *green bonds* (títulos verdes) tem apresentado crescimento expressivo no Brasil, atraindo investidores internacionais interessados em projetos com impacto ambiental positivo. Além disso, programas de incentivos fiscais e parcerias público-privadas também têm papel relevante na ampliação das oportunidades de investimento em sustentabilidade.

O financiamento sustentável não é apenas um mecanismo técnico para mobilizar capital, mas um catalisador essencial para a transição energética. Ele exige uma abordagem estratégica que combine grandes investimentos em infraestrutura com o apoio a iniciativas locais e a promoção da inclusão social. O sucesso dessa agenda depende de uma articulação eficiente entre governos, instituições financeiras e setor privado, além do engajamento contínuo de investidores conscientes do potencial transformador da sustentabilidade para a economia e para o planeta.

4. Retorno sobre Investimento (ROI)

O Retorno sobre Investimento (ROI) em projetos de energia renovável no Brasil tem se mostrado cada vez mais atrativo, impulsionado tanto pela abundância de recursos naturais quanto pela crescente demanda por energia limpa, no Brasil e no exterior. Estudos indicam que empreendimentos voltados à geração de energia solar e eólica podem alcançar *paybacks* em menos de dez anos, a depender do modelo de negócio adotado, dado relevante para investidores que buscam setores com alto potencial de crescimento e retorno consistente.

No entanto, o ROI em energia renovável vai além do aspecto financeiro direto. Empresas que investem em projetos sustentáveis colhem benefícios adicionais importantes, como o fortalecimento da imagem institucional. Em um cenário em que consumidores valorizam cada vez mais práticas responsáveis, a adoção de estratégias alinhadas à sustentabilidade pode se tornar um diferencial competitivo decisivo. Além disso, a imagem positiva associada a iniciativas verdes tem o poder de atrair consumidores conscientes, que preferem marcas comprometidas com o meio ambiente e com o futuro do planeta.

Outro benefício estratégico desses investimentos está na resiliência organizacional. Em um contexto de regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas, antecipar-se às exigências legais por meio da adoção de energia limpa reduz riscos operacionais e jurídicos. Empresas que já avançaram nessa agenda tendem a apresentar maior capacidade de adaptação, garantindo conformidade regulatória e a continuidade e expansão de suas operações em um mercado em constante transformação.



No longo prazo, o alinhamento à transição energética deve ser encarado não apenas como uma decisão de investimento, mas como uma alavanca para a geração de valor sustentável. A transição para uma matriz energética mais limpa e diversificada proporciona às empresas oportunidades de inovação, eficiência operacional e acesso a novos mercados. Além disso, empresas comprometidas com critérios ESG (ambiental, social e de governança) tendem a ser mais bem avaliadas por investidores institucionais, que buscam organizações com visão de futuro e responsabilidade socioambiental.

Dessa forma, o ROI em energia renovável no Brasil não deve ser medido apenas pelos indicadores financeiros tradicionais, mas como parte de uma estratégia empresarial integrada. Ao explorar os recursos naturais abundantes do país e responder às expectativas de consumidores, reguladores e investidores, os projetos de energia limpa se consolidam como instrumentos fundamentais para o crescimento econômico, fortalecimento da reputação corporativa e construção de uma organização resiliente frente aos desafios do futuro.

Conclusão

O Brasil tem uma oportunidade única de liderar a transição energética global, alavancando sua competitividade natural, reduzindo custos com energia renovável e explorando mecanismos inovadores de financiamento sustentável. Ao alinhar o financiamento com objetivos estratégicos e climáticos, o país pode atrair investimentos significativos e colher retornos econômicos, sociais e ambientais de longo prazo. Para isso, é indispensável que o governo, setor privado e instituições financeiras trabalhem juntos, criando um ecossistema favorável à transição energética. O desafio é grande, mas o potencial de transformar o Brasil em uma potência verde é ainda maior.



Trabalhamos para ser a empresa de serviços profissionais mais confiável e relevante do mundo. Uma firma que atrai os melhores talentos e combina as tecnologias mais inovadoras para ajudar as organizações a construir confiança e produzir resultados sustentáveis.

Como parte de um network de firmas presente em mais de 130 territórios e formado por mais de 360 mil profissionais, ajudamos organizações e indivíduos oferecendo qualidade na prestação de serviços integrados nas áreas de auditoria e asseguração, consultoria tributária, consultoria estratégica e assessoria em transações.

Nosso foco é apoiar as organizações em duas necessidades interligadas que ganham força em um mundo em transformação. A primeira é construir confiança – algo que nunca foi tão importante em um contexto de incertezas, mudanças constantes e expectativa de que as empresas respondam por seu impacto na sociedade. A segunda é entregar resultados sustentáveis em um ambiente no qual a competição, a disrupção e a necessidade de inovar e se transformar são crescentes.

Com essa abordagem, buscamos realizar nosso propósito de construir confiança na sociedade e resolver problemas importantes.



Aspectos regulatórios e legais da transição energética

O objetivo deste capítulo é apresentar os principais elementos normativos relacionados às indústrias de energia no Brasil. Essa abordagem contempla os setores de petróleo, gás natural, biocombustíveis e energia elétrica.

Busca-se traçar um fio condutor que permita compreender as bases normativas sobre as quais a transição energética brasileira vem se desenvolvendo. Para tanto, parte-se de um breve panorama histórico, abordando as competências constitucionais relativas à energia e a evolução dos setores mencionados.

Também são analisadas as instituições e autoridades públicas envolvidas nessas indústrias, que são centrais para a economia nacional. Por fim, são apresentados dados essenciais para entender a atual oferta de energia elétrica no país, a diversificação das fontes e os resultados já alcançados no processo de descarbonização da economia.



Breve panorama histórico

Competências constitucionais sobre energia

Para iniciarmos qualquer discussão sobre o atual estágio da transição energética no Brasil, é fundamental compreender as bases constitucionais que regem o exercício das competências relativas à energia no país.

A Constituição Federal de 1988 estabelece uma repartição de competências materiais e normativas entre os entes federativos. Em especial, os artigos 21, inciso XII, alínea "b", e 22, inciso IV, dispõem que compete à União: (i) explorar, diretamente ou mediante autorização, concessão ou permissão, os serviços e instalações de energia elétrica; e (ii) legislar privativamente sobre energia. Vejamos:

Art. 21. Compete à União: (...)

XII - explorar, diretamente ou mediante autorização, concessão ou permissão: (...)

b) os serviços e instalações de energia elétrica e o aproveitamento energético dos cursos de água, em articulação com os Estados onde se situam os potenciais hidroenergéticos;

Art. 22. Compete privativamente à União legislar sobre: (...)

IV - águas, energia, informática, telecomunicações e radiodifusão;

Em razão desses dispositivos constitucionais, os serviços e as atividades relacionados à energia elétrica são regidos exclusivamente por legislação federal. Nesse contexto, a Lei nº 9.427/1996 instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com a finalidade de regular e fiscalizar o Setor Elétrico Brasileiro (SEB), conforme a legislação vigente.

No que se refere às competências constitucionais relativas ao petróleo e ao gás natural, a Constituição Federal de 1988 estabelece uma divisão entre as atribuições da União e dos Estados. Os artigos 20, inciso IX, e 177 conferem à União, como titular dos recursos minerais, a competência geral para regulamentar toda a cadeia do petróleo e do gás natural. Por outro lado, o artigo 25, §2º, prevê a única competência estadual em matéria de energia: a responsabilidade pelos serviços locais de gás canalizado.

Art. 20. São bens da União: (...)

IX - os recursos minerais, inclusive os do subsolo;

Art. 25 (...)

§ 2º Cabe aos Estados explorar diretamente, ou mediante concessão, os serviços locais de gás canalizado, na forma da lei, vedada a edição de medida provisória para a sua regulamentação.

Art. 177. Constituem monopólio da União:

I - a pesquisa e a lavra das jazidas de petróleo e gás natural e outros hidrocarbonetos fluidos;

II - a refinação do petróleo nacional ou estrangeiro;

III - a importação e exportação dos produtos e derivados básicos resultantes das atividades previstas nos incisos anteriores;

IV - o transporte marítimo do petróleo bruto de origem nacional ou de derivados básicos de petróleo produzidos no País, bem assim o transporte, por meio de conduto, de petróleo bruto, seus derivados e gás natural de qualquer origem;

V - a pesquisa, a lavra, o enriquecimento, o reprocessamento, a industrialização e o comércio de minérios e minerais nucleares e seus derivados, com exceção dos radioisótopos cuja produção, comercialização e utilização poderão ser autorizadas sob regime de permissão, conforme as alíneas b e c do inciso XXIII do caput do art. 21 desta Constituição Federal.

§ 1º A União poderá contratar com empresas estatais ou privadas a realização das atividades previstas nos incisos I a IV deste artigo observadas as condições estabelecidas em lei.

§ 2º A lei a que se refere o § 1º disporá sobre:

I - a garantia do fornecimento dos derivados de petróleo em todo o território nacional;

II - as condições de contratação;

III - a estrutura e atribuições do órgão regulador do monopólio da União.

Esses dispositivos constitucionais introduziram a competência da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) no §2º, III, responsável pelas competências federais em matéria de hidrocarbonetos e outros produtos, conforme estabelecido pela Lei nº 9.478/1997, que instituiu tal agência reguladora.

O artigo 238 da Constituição Federal, por sua vez, confere à União a competência geral para disciplinar, por meio de lei específica, a comercialização de combustíveis, abrangendo a venda e a revenda de derivados de petróleo, álcool carburante e outros combustíveis oriundos de matérias-primas renováveis. Esse dispositivo estabelece, portanto, a base constitucional para a atuação da União na regulação dos combustíveis renováveis e dos biocombustíveis.

Art. 238. A lei ordenará a venda e revenda de combustíveis de petróleo, álcool carburante e outros combustíveis derivados de matérias-primas renováveis, respeitados os princípios desta Constituição.

Com a abertura econômica dos anos 1990, a Emenda Constitucional nº 9/1995 permitiu que a União contratasse empresas estatais ou privadas para atuar na indústria de óleo e gás natural. Apesar disso, manteve-se o monopólio da União sobre a decisão de quem poderia exercer essas atividades.

Historicamente, o setor energético no Brasil é marcado pela centralização. A Constituição de 1988 atribuiu à esfera federal a maior parte das competências sobre energia, limitando a autonomia de estados e municípios. Isso também se aplica aos hidrocarbonetos. No caso do gás natural, mesmo havendo divisão de responsabilidades, a Nova Lei do Gás (Lei nº 14.134/2021) e seu decreto regulamentador (Decreto nº 10.712/2021) reforçam o papel da União, que atua por meio do Ministério de Minas e Energia (MME) e da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em articulação com os estados.

Diante do que prevê a Constituição Federal em relação aos setores energéticos, cabe traçar algumas linhas que distinguem a evolução dos setores de petróleo e gás, bem como o histórico recente da geração de energia elétrica. Notadamente, um importante destaque será conferido à regulação federal para a exploração sustentável dos recursos energéticos e a necessidade de políticas públicas que promovam a transição energética e a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Panorama dos setores de petróleo e gás

A exploração de petróleo no Brasil teve início na década de 1930, no Recôncavo (BA), inicialmente com agentes privados. Pouco depois, a União estatizou os primeiros poços e criou, em 1938, o Conselho Nacional do Petróleo (CNP) para regulamentar e fomentar a indústria.

Nos anos seguintes, novos campos exploratórios foram descobertos, levando à construção de refinarias para o refino do petróleo. Em 1953, a Lei nº 2.004 instituiu o monopólio estatal do petróleo e criou a Petrobras, responsável por todas as etapas da cadeia, exceto a distribuição. Nas décadas seguintes, a estatal expandiu a produção, investiu em pesquisa e iniciou a exploração offshore, com a primeira descoberta comercial no mar em 1968, no campo de Guaricema (SE).

A crise do petróleo nos anos 1970 mostrou as limitações da Petrobras em atuar sozinha para atender à demanda nacional. Já nos anos 1990, as reformas econômicas e políticas abriram espaço ao capital privado, com a Lei nº 9.478/1997 (Lei do Petróleo). Essa lei criou a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em 1998, para regular e fiscalizar o setor, além do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), responsável por propor políticas e diretrizes estratégicas.



Seguindo o modelo de Estado Regulador, a ANP ganhou autonomia técnica e administrativa para fiscalizar toda a cadeia de petróleo, gás natural e biocombustíveis. Sua criação trouxe mais transparência, eficiência e competitividade ao setor, atraindo novos investimentos.

Com a possibilidade de participação privada, as décadas de 1990 e 2000 foram marcadas pela realização de leilões para outorga de contratos de concessão e, a partir de 2010, de partilha de produção, instituído pela Lei nº 12.351/2010, após a descoberta, em 2006, das gigantescas reservas do pré-sal na Bacia de Santos.

Essa descoberta colocou o Brasil entre os maiores produtores de petróleo do mundo. No regime de partilha, o contratado assume os riscos da exploração e, em caso de sucesso comercial, tem direito à apropriação do custo em óleo e de parte do excedente, conforme contrato.

Adicionalmente, a Lei nº 12.304/2010 autorizou a União a criar a Empresa Brasileira de Administração de Petróleo e Gás Natural S.A. - Pré-Sal Petróleo S.A. (PPSA), responsável por gerenciar os contratos de partilha firmados pelo MME e pela comercialização do petróleo e gás pertencentes à União.

O petróleo do pré-sal se destaca pela alta qualidade e grande valor no mercado internacional. Em novembro de 2025, ele representou mais de 79 % da produção nacional de petróleo e gás, um aumento de 15,6% em relação ao mesmo mês do ano anterior. Já o gás natural sempre teve papel secundário, sendo majoritariamente do tipo associado, extraído junto ao petróleo em campos marítimos.

Para fomentar o consumo de gás natural, foi sancionada a Lei nº 11.909/2009 (antiga Lei do Gás), que regulou atividades como transporte, tratamento, processamento, estocagem, liquefação, regaseificação e comercialização e introduziu conceitos como consumidor livre, autoprodutor e autoimportador, base do mercado livre de gás.

Entre 2015 e 2016, a Petrobras iniciou um plano de desinvestimentos, e o governo lançou o programa “Gás para Crescer”, que propôs diretrizes para modernizar o mercado de gás e deu origem a Nova Lei do Gás (Lei nº 14.134/2021). Antes disso, em 2019, a Petrobras assinou um Termo de Compromisso com o CADE, reduzindo sua participação nos mercados de refino e gás natural, abrindo caminho para maior concorrência.

A Nova Lei do Gás reconheceu expressamente o papel das regulações estaduais, definindo a distribuição de gás canalizado como serviço local sujeito a normas estaduais ou distritais. O Decreto nº 10.712/2021 regulamentou sua aplicação.

Em relação aos biocombustíveis, a Lei do Petróleo foi alterada pela Lei nº 11.097/2005 para incluir o biodiesel como parte da matriz energética nacional e, posteriormente, pela Lei nº 12.490/2011, para abranger todos os biocombustíveis, consolidando a atuação do CNPE e da ANP na regulação do setor.

A Lei do Petróleo define biocombustível como substância derivada de biomassa renovável (como biodiesel e etanol), passível de uso direto ou modificado em motores a combustão interna ou em outras formas de geração de energia, podendo substituir parcial ou totalmente os combustíveis fósseis.

Mais recentemente, foram aprovadas leis que atribuem à ANP competências relacionadas ao hidrogênio (não derivado de petróleo e gás natural - Lei nº 14.948/2024) e à captura e uso de carbono e combustíveis sintéticos (Lei nº 14.993/2024), o que demonstra a expansão do papel da agência em direção a uma matriz energética mais limpa e à transição energética.

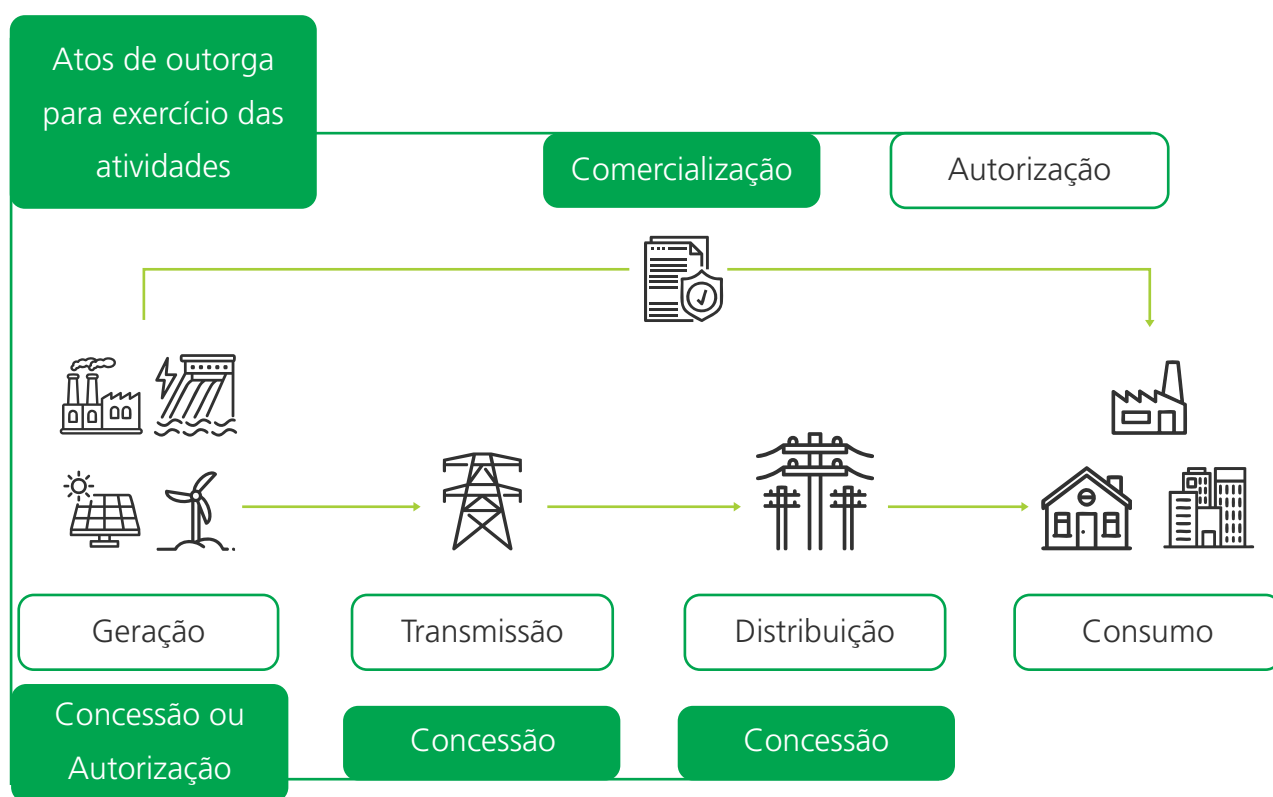
Como já mencionado, o setor de petróleo e gás no Brasil tem sido historicamente dominado pela Petrobras. Desde sua criação em 1953, a empresa tem exercido papel central em toda a cadeia do setor energético nacional.

Segundo dados da ANP (2024), a Petrobras foi responsável, sozinha ou em consórcio, por 89,37% da produção nacional de petróleo e gás. Campos operados exclusivamente pela estatal responderam por 22,24% dessa produção. Ainda que o mercado venha se abrindo gradualmente, espera-se que a entrada de novos agentes contribua para um ambiente mais competitivo e benéfico ao país.

Evolução do setor elétrico

Por outro lado, a história da produção e da oferta de eletricidade mudou muito ao longo das últimas décadas. Em termos gerais, a estrutura básica da cadeia de valor do setor elétrico pode ser sintetizada pela Figura 1, que também indica os atos utilizados para a delegação da exploração das atividades, de acordo com a legislação em vigor.

Figura 1 – Cadeia de valor da energia elétrica e atos de delegação das atividades



Fonte: Mattos Filho

Até chegar à sua configuração atual, Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) passou por uma grande transformação entre as décadas de 1980 e 1990. Esse período marcou a transição do modelo desenvolvimentista, baseado em fortes investimentos estatais em infraestrutura (1946–1987), para o modelo de Estado Regulador, em resposta à crise econômica interna e internacional.

Na década de 1990, especialmente durante o governo FHC (1995–2003), ocorreram as primeiras reformas de abertura do mercado elétrico, acompanhadas pela privatização de empresas do setor. A própria Constituição de 1988 já indicava essa mudança, ao fortalecer o papel regulador do Estado.

Com a desestatização, tornou-se essencial criar um aparato regulatório capaz de equilibrar os interesses do governo, das empresas privadas e dos consumidores. Assim, consolidou-se um Estado menos atuante na produção e mais focado na regulação, transferindo à iniciativa privada o protagonismo na geração de riqueza e expansão do setor.

Esse contexto foi marcado não apenas pela erosão do modelo de financiamento público e pela necessidade de controle tarifário, mas também por tensões institucionais entre a Eletrobras e as concessionárias de serviços públicos. Nesse cenário, surgiu o Plano REVISE (1986–88), que iniciou a modernização do setor e já apontava a necessidade de atrair investimentos privados.

A reforma de 1995 descentralizou a prestação de serviços públicos e criou as bases para agências reguladoras autônomas. No setor elétrico, isso significou a substituição do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), marcando o fim da gestão centralizada.

As diretrizes dessa transformação foram delineadas no Plano Diretor da Reforma do Aparelho do Estado (PDRAE), que propôs reduzir monopólios estatais e fortalecer órgãos reguladores.

Entre 1996 e 1998, o Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (RE-SEB), aprofundou a reestruturação do setor elétrico, introduzindo mudanças essenciais como a desverticalização das empresas, abertura do mercado de geração, criação de um sistema independente de transmissão, livre acesso às redes e manutenção da transmissão e distribuição como monopólios naturais, com planejamento para expansão da oferta de energia.

Uma das principais inovações das reformas do setor elétrico foi a criação de um regulador independente, responsável por garantir a estabilidade do marco regulatório, interpretar a legislação e preservar a integridade do modelo.

O objetivo central era aumentar a eficiência. O modelo centralizado deu lugar a um Estado regulador, com maior autonomia técnica e decisões voltadas para atrair investimentos. Isso impulsionou a expansão da geração elétrica, agora também realizada por produtores independentes de energia.

Na década de 2000, um marco importante foi a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que estimulou o desenvolvimento e a difusão das fontes renováveis no país.

O PROINFA foi criado para ampliar a oferta de energia emergencial, evitar racionamentos como o de 2001 e incentivar fontes renováveis (eólica, solar, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas). Também buscou diversificar a matriz energética, reduzindo a dependência da hidrelétrica e aumentando a segurança e sustentabilidade do setor.

Poucos anos depois, a Lei nº 10.848/2004 instituiu os leilões de energia, estruturando o atual modelo comercial dividido entre o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). No ACR, foram promovidos leilões específicos para fontes alternativas, como biomassa, eólica e, mais tarde, solar.

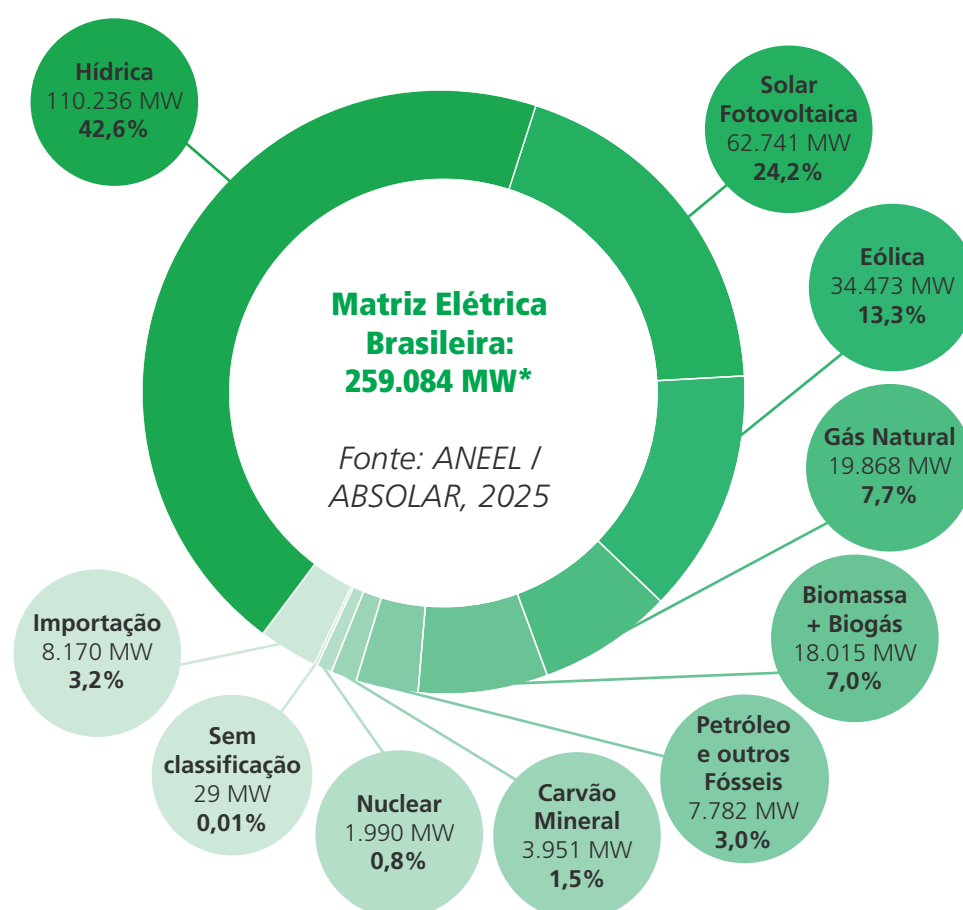
Já em 2012, a Resolução Normativa nº 482 da ANEEL estabeleceu as bases da micro e minigeração distribuída (MMGD), permitindo a compensação de energia para unidades de até 5 MW conectadas à rede. Esse marco regulatório foi atualizado ao longo da década, estimulando a geração descentralizada no país.

O arcabouço jurídico foi consolidado com a aprovação da Lei nº 14.300/2022, que instituiu um regime jurídico específico para a geração distribuída, complementado por nova regulamentação da ANEEL. A MMGD é descentralizada, mas complementa os sistemas de larga escala dos ambientes de contratação regulada (ACR) e livre (ACL).

A evolução do SEB levou a uma matriz energética muito mais diversificada. Segundo dados atualizados da ANEEL, mais de 84% da potência outorgada vem de fontes renováveis (grandes hidrelétricas, eólicas, solares e pequenas centrais hidrelétricas) percentual ainda maior quando se considera a geração efetiva de energia.

A Figura 2 apresenta uma fotografia de janeiro de 2026 a partir de dados organizados e divulgados pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) referentes a 12 de dezembro de 2025.. Em seu infográfico, a ABSOLAR considera também os dados referentes à MMGD, o que faz a fonte solar fotovoltaica saltar de aproximadamente 19.618 MW (7,6% da oferta total) para 62.74 MW (24,2%) de capacidade instalada.

Figura 2 – Composição da de energia elétrica no Brasil por fonte (com MMGD) – janeiro/2026



*A potência total da matriz não inclui a importação e segue critério aplicado pelo MME, que adiciona, nos valores de capacidade instalada, as quantidades de mini e microgeração distribuída associadas a cada tipo de fonte.

Fonte: ABSOLAR

Diante desse contexto, evidencia-se que o PROINFA, os leilões de energia renovável e a regulamentação da MMGD em 2012 foram fundamentais para consolidar a energia solar e eólica na matriz elétrica brasileira. Segundo a EPE, em 2024, essas fontes representavam 25,5% e 2,5% da capacidade instalada, evidenciando a transição de um sistema majoritariamente hidrotérmico e estatal para um modelo diversificado, com maior participação do capital privado.

Encabeçada principalmente pelo investimento privado nas últimas décadas após a liberalização da atividade de geração, a oferta de energia cresceu significativamente, e a participação da energia hídrica caiu para aproximadamente 50%, enquanto fontes renováveis, principalmente eólica e solar fotovoltaica, ganharam destaque, impulsionando a transição energética no país.

Para compreender algumas das causas desses resultados, vale analisar o atual panorama institucional do SEB, os principais atos normativos e os estímulos à descarbonização da economia brasileira, como será exposto a seguir.

Atuais leis e regulamentações do setor energético

A governança atual do setor energético no Brasil é coordenada principalmente pelo Ministério de Minas e Energia (MME), responsável pelo planejamento geral dos setores energéticos e minerário, pela formulação de políticas públicas e pelo monitoramento do suprimento de energia.

O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), presidido pelo Ministro de Minas e Energia, assessora a Presidência na definição de diretrizes para o setor e avalia continuamente a segurança do suprimento energético no país. Já o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), também liderado pelo MME, atua de forma específica no monitoramento da continuidade e da segurança da energia elétrica. A ANEEL, por sua vez, regula e fiscaliza a indústria elétrica, em conformidade com as diretrizes do MME..

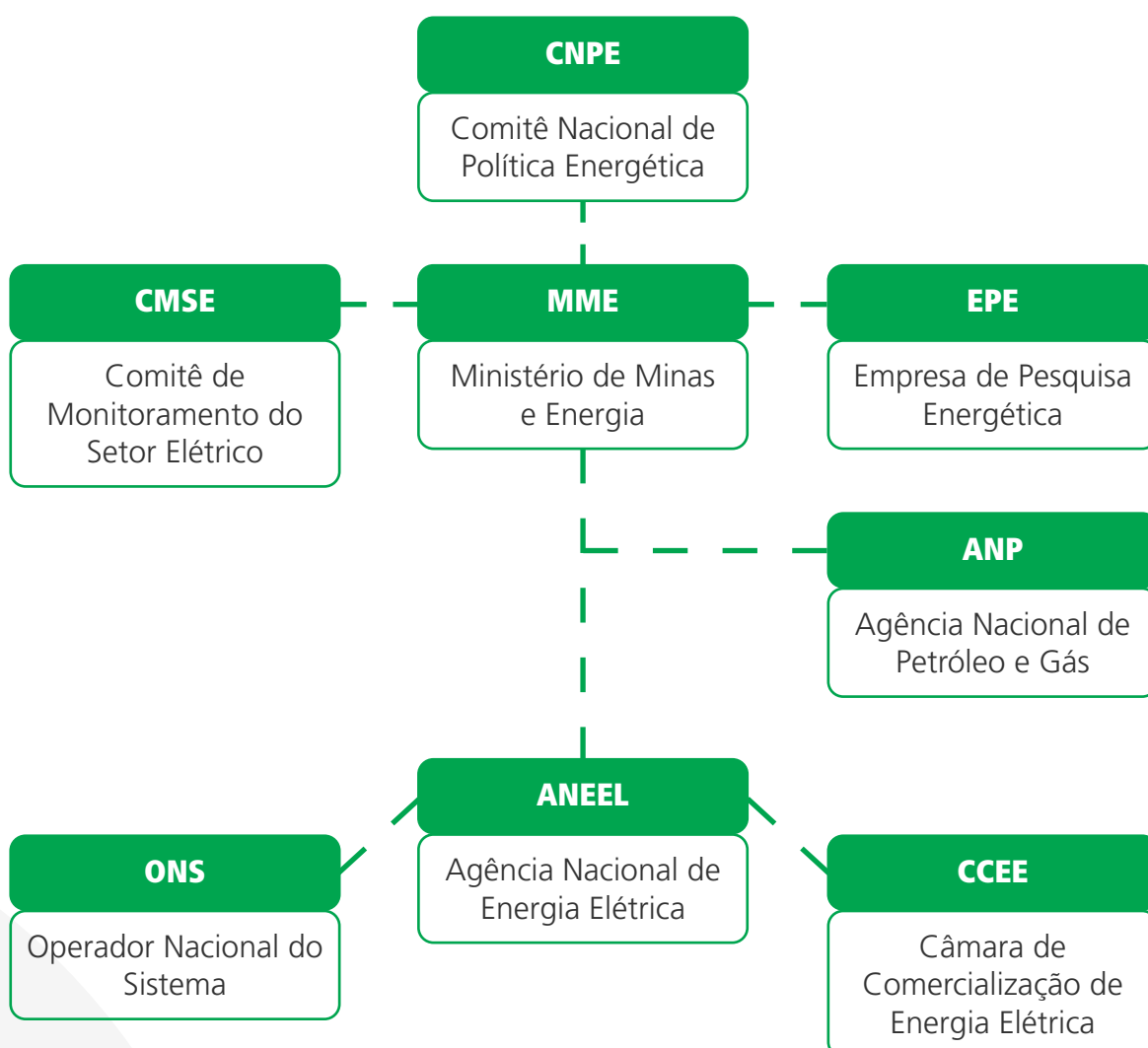
Adicionalmente, três entidades complementam as autoridades públicas encarregadas da operação do sistema, da comercialização de energia e dos estudos setoriais:

- Operador Nacional do Sistema (ONS): coordena a operação dos sistemas de geração e transmissão no Sistema Interligado Nacional (SIN) e em sistemas isolados.

- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE): organiza o mercado de energia elétrica, registrando contratos e contabilizando transações, inclusive de fontes renováveis.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE): realiza estudos e pesquisas que subsidiam o planejamento do setor e avalia projetos para participação em leilões de energia.

Esse conjunto de instituições e suas principais competências podem ser sintetizadas pela Figura 3.

Figura 3 – Organograma institucional do Setor Elétrico Brasileiro



Fonte: Mattos Filho

A Lei nº 9.074/1995 definiu regras gerais para o setor elétrico, tratando de concessões e permissões, além de dar à ANEEL o poder de editar normas e criar a figura do consumidor livre, que pode escolher seu fornecedor de energia.

A Lei nº 9.427/1996 criou a ANEEL e lhe atribuiu competências específicas para regular e fiscalizar o setor elétrico, aplicar penalidades, organizar leilões de energia e aprovar alterações societárias, sempre visando equilíbrio, concorrência e qualidade no atendimento.

Já os Decretos nº 5.163 e nº 5.177 (2004) estabeleceram as regras de comercialização no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e no Ambiente de Contratação Livre (ACL), além de criar e regulamentar a atuação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Além da atuação legislativa do Congresso Nacional e da edição de decretos regulamentadores pelo governo federal, outras instituições do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) também editam atos normativos relevantes para a indústria.

O MME também atua por meio de portarias, definindo políticas para o setor de energia. Essas políticas abrangem a exploração e produção de recursos energéticos como petróleo, gás natural e biocombustíveis, com foco no planejamento do sistema, no aproveitamento de recursos e na segurança do suprimento.

Mais recentemente, o MME tem buscado protagonismo com a Política Nacional de Transição Energética, que busca reduzir emissões, ampliar renováveis e alinhar o setor aos objetivos de sustentabilidade, inclusão social e combate às mudanças climáticas.

O CNPE, por sua vez, edita resoluções com o objetivo de orientar a atuação dos agentes do setor, do poder público e da sociedade, promovendo o desenvolvimento sustentável do setor energético. Em relação à transição energética, o CNPE já editou ao menos quatro resoluções importantes:

- A Resolução CNPE nº 6/2021 determinou a realização de estudos para a formulação de diretrizes do Programa Nacional do Hidrogênio.
- A Resolução CNPE nº 2/2024 definiu diretrizes para a valoração dos custos e benefícios da micro e minigeração distribuída (MMGD).

- A Resolução CNPE nº 5/2024 instituiu a Política Nacional de Transição Energética (PNTE), o Plano Nacional de Transição Energética (Plante) e o Fórum Nacional de Transição Energética (Fonte).
- A Resolução CNPE nº 21/2025 estabeleceu metas anuais de redução de emissões de gases de efeito estufa na comercialização de combustíveis.

Essas resoluções são essenciais para guiar a transição para um modelo energético mais sustentável e eficiente, promovendo a inovação e a sustentabilidade no país.

A ANEEL, agência reguladora do setor elétrico, possui seis principais de competências:

- Normativa: edição de normas e padrões para o setor
- Adjudicatória: emissão de decisões direcionadas aos agentes regulados
- Fiscalizatória: monitoramento da atuação dos agentes
- Sancionatória: aplicação de penalidades
- Arbitral: mediação e solução de conflitos
- Orientadora: recomendações para políticas públicas

Na prática, essas funções incluem: implementar diretrizes do governo, aplicar multas, definir tarifas, estabelecer metas, resolver conflitos entre agentes e usuários e prevenir concentrações econômicas prejudiciais à concorrência.

Quanto à competência normativa, a ANEEL está sujeita ao princípio da legalidade e utiliza instrumentos como regras de comando e controle, incentivos e alternativas regulatórias, sempre com o objetivo de corrigir falhas de mercado, evitar monopólios, coibir abusos e garantir qualidade e preços adequados nos serviços.

Como exemplo, a Resolução Normativa nº 875/2020 , sobre regras para autorizações e aproveitamentos em projetos hidrelétricos; e a nº 1.071/2023, que trata de outorgas para usinas eólicas, solares, térmicas, híbridas e outras fontes alternativas.

Na transmissão, a Resolução Normativa nº 905/2020 da ANEEL estabeleceu as Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica, organizadas em módulos que tratam da classificação de instalações, prestação de serviços, acesso ao sistema e coordenação da operação. Complementarmente, os Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), definidos pela Resolução nº 903/2020, detalham regras para operação e planejamento do Sistema Interligado Nacional (SIN), incluindo relacionamento com agentes, acesso à rede de transmissão, integração de instalações e administração contratual e financeira.

Na distribuição, um monopólio natural operado por concessionárias e permissionárias, a Resolução Normativa nº 1.000/2021 consolidou as regras de prestação do serviço público. Ela abrange direitos e deveres dos consumidores, conexão, contratos, tarifa social, medição, faturamento, cortes de fornecimento, atendimento, ressarcimentos, iluminação pública, veículos elétricos e a regulação da Micro e Minigeração Distribuída (MMGD).

Os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), consolidados pela Resolução nº 956/2021, padronizam atividades técnicas da distribuição de energia, como planejamento da expansão, conexão à rede, operação, medição, faturamento e qualidade do fornecimento.

Os Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET), estruturados pela Resolução nº 1.003/2022, regulam reajustes e revisões tarifárias, além de definir a estrutura tarifária, encargos setoriais e componentes financeiros aplicáveis a distribuidoras, transmissoras e geradoras.

Outro instrumento fundamental do conjunto normativo da ANEEL é a Resolução Normativa nº 948/2021, que trata dos aspectos econômico-financeiros das empresas do setor, incluindo alterações societárias, transferências de controle, negócios entre partes relacionadas e acompanhamento da eficiência econômico-financeira.



O segmento de comercialização, considerado o menos regulado da cadeia, especialmente quanto à definição de preços praticados pelos agentes, também está sujeito à legislação federal e à regulação da ANEEL. Os principais normativos incluem:

- Resolução nº 1.011/2022: autorização para comercialização
- Resolução nº 957/2021: Convenção de Comercialização
- Resolução nº 1.009/2022: contratações no ACR e ACL
- Procedimentos e Regras da CCEE, aprovados pela agência

Por fim, o setor energético está sujeito ao Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), instituído pela Lei nº 15.103/2025, cujos principais objetivos são o financiamento de projetos de desenvolvimento sustentável, a estimulação de atividades relacionadas à transição energética em regiões carboníferas e a promoção de geração e o uso eficiente da energia de baixo carbono.

No geral, a regulação do setor energético é extensa e dinâmica, acompanhando mudanças nas expectativas dos consumidores e a evolução do mercado, especialmente em oferta, distribuição e formas de consumo de energia.

Descarbonização da economia

A descarbonização é um desafio global, especialmente no setor elétrico, historicamente dependente de combustíveis fósseis, e nos chamados setores hard-to-abate (cimento, aço, petroquímica, aviação e transporte marítimo), que concentram parte relevante das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil. A transição para uma economia de baixo carbono exige inovação tecnológica, políticas públicas consistentes e investimentos robustos.

Apesar de ainda não existir um plano nacional estruturado de descarbonização, já há avanços normativos e políticas que apontam nessa direção. No setor de petróleo e gás, por exemplo, os esforços se intensificaram nos últimos anos, com definição de metas de redução de emissões, desenvolvimento do mercado de hidrogênio de baixo carbono e regulamentação de combustíveis sintéticos com captura e armazenamento de carbono. Um marco inicial foi a inclusão dos biocombustíveis na Lei do Petróleo (2005), que abriu caminho para novas soluções sustentáveis.

A inserção dos biocombustíveis no setor de petróleo e gás começou nos na década de 1970, com o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), que incentivou a produção e o uso do etanol. Em 2005, essa competência foi formalmente atribuída à ANP.

Outro marco importante foi a Lei nº 13.576/2017 (RenovaBio), que estimula a produção e o uso de biocombustíveis pela introdução de obrigações aos distribuidores de combustíveis líquidos de cumprir metas de descarbonização, alinhando o Brasil às metas do Acordo de Paris por meio de um sistema de créditos regulado por normas como o Decreto nº 9.888/2019, a Portaria MME nº 56/2022 e a Resolução ANP nº 802/2019, os Crédito de Descarbonização (CBIO).

Para o segmento de gás natural, a Lei nº 14.993/2024 instituiu o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano. De forma semelhante ao RenovaBio, esse programa estabeleceu que serão criadas metas anuais de redução de emissões de GEE no mercado de gás natural comercializado, autoproduzido ou autoimportado pelos produtores e importadores de gás natural brasileiros, que será cumprida por meio da participação do biometano no consumo do gás natural. A partir do Decreto nº 12.614/2025, em 2026 devem ser comercializados os primeiros Certificado de Garantia de Origem de Biometano (CJOB) que apoiarão na descarbonização desse segmento.

No caso do hidrogênio verde, o Brasil tem grande potencial para se tornar líder global, graças à abundância de fontes renováveis. Produzido por eletrolisadores movidos a energia limpa, ele é estratégico para a descarbonização da economia, pois alia alta densidade energética à possibilidade de redução de custos com avanços tecnológicos e incentivos.

Do ponto de vista normativo, o Brasil vem construindo um ambiente jurídico mais seguro para viabilizar o desenvolvimento dessa indústria, por meio de leis recentes que conferem à ANP competência regulatória sobre o tema.

Destacam-se:

- Lei nº 14.948/2024: cria o marco regulatório do hidrogênio de baixo carbono, com incentivos tecnológicos, diretrizes de segurança e eficiência, visando consolidar o Brasil como protagonista na economia do hidrogênio.

- Lei nº 14.990/2024: institui o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC), permitindo concessão de créditos fiscais a produtores e compradores desse tipo de hidrogênio.
- Lei nº 14.993/202: dispõe sobre a mobilidade de baixo carbono, estimulando *diesel* verde, biocombustíveis para aviação, biometano e cria o marco legal para captura e armazenamento geológico de CO₂.

O Brasil avança em sua transição energética, com a atuação coordenada de instituições e marcos normativos que têm ampliado o uso de biocombustíveis e fontes renováveis na matriz elétrica.

Entre 2023 e 2024, a capacidade instalada de energia solar passou de 37.843 MW para 48.468 MW, e a eólica de 28.682 MW para 29.550 MW. Na geração efetiva, a solar cresceu 39,6% (cerca de 50.633 GWh para 70.665 GWh) e a eólica 12,4%.

Em 2025, até novembro, a expansão da matriz elétrica ultrapassou 6,5 GW, com mais de 100 novas centrais, das quais 75% são solares ou eólicas. Adicionalmente, dos projetos autorizados pela ANEEL e que se encontram em construção, 38% representam fontes solares e 13% eólicas, além daqueles que foram autorizados mas não entraram em construção ainda, sendo 84,5% de fontes solares e 13,5% eólicas.

Esses dados evidenciam o papel crescente das renováveis no mix energético brasileiro e a consolidação do país rumo a uma matriz mais limpa e diversificada.

Em 2024, a EPE e o MME ONS registraram que mais de 88% da matriz elétrica brasileira foi atendida por fontes renováveis, principalmente hidráulica, eólica e solar.

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2034 da EPE indica um crescimento médio anual de 5,9% a.a. na oferta de energia elétrica por fontes renováveis. A projeção indica que, até 2034, as renováveis devem chegar a 49% da matriz energética e 86% da matriz elétrica, demandando investimentos de mais de R\$ 3,2 trilhões, cerca de R\$ 2,6 bilhões para petróleo, gás e biocombustíveis, e R\$ 597 bilhões para geração e transmissão elétrica, considerando crescimento econômico médio de 2,8% ao ano.

Os dados oficiais de EPE, ONS, ANEEL e CCEE confirmam a expressiva ascensão das fontes renováveis no país, especialmente solar e eólica. O Brasil já possui alta capacidade de geração limpa, que reduz emissões e garante segurança energética. Para avançar na descarbonização da matriz e da economia, são necessários novos investimentos, políticas públicas consistentes e incentivos adequados.

Considerações finais

O Brasil tem avançado na diversificação da matriz elétrica, cada vez mais sustentada por fontes renováveis, e agora pode direcionar esforços para a descarbonização de outros setores da economia, especialmente os de difícil mitigação, como cimento, aço, petroquímica e transporte aéreo, terrestre e marítimo.

Esses setores já buscam alternativas, como geração própria de energia solar e eólica, uso de biomassa e resíduos industriais e, no caso do aço, hidrogênio verde para produzir o chamado “aço verde”. Outras soluções incluem captura e armazenamento de carbono, biocombustíveis sustentáveis e maior eficiência energética nos transportes.

Para viabilizar essa transição, é essencial pesquisa e desenvolvimento tecnológico, políticas públicas de incentivo a tecnologias limpas, regulamentações rigorosas sobre emissões, subsídios, incentivos fiscais e atração de investimentos, incluindo parcerias público-privadas e financiamentos verdes.

Embora a descarbonização enfrente desafios como custos elevados, resistência à mudança e necessidade de infraestrutura, ela é crucial para mitigar mudanças climáticas e garantir um futuro sustentável. Com políticas, investimentos e inovação adequados, o Brasil pode liderar o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e fomentar a criação de empregos verdes.



Referências

BINENBOJM, Gustavo. Poder de polícia, ordenação e regulação: transformações político-jurídicas, econômicas e institucionais do direito administrativo ordenador. 2. Ed. – Belo Horizonte: Fórum, 2017

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Energia. Departamento Nacional de Política Energética. Projeto RESEB-COM Sumário Executivo Das Sugestões, outubro 2001, Brasília: MME, p. 2.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2034. Brasília: MME/EPE, 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-804/topico-758/PDE2034_Aprovado.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2026.

BRASIL, Presidência da República – (F. H. Cardoso). Plano Diretor da Reforma do Aparelho do Estado. – Brasília: Presidência da República, Câmara de Reforma do Estado, Ministério da Administração Federal e Reforma do Estado, 1995. Disponível em: <biblioteca.presidencia.gov.br/publicacoes-oficiais/catalogo/fhc/plano-diretor-da-reforma-do-aparelho-do-estado-1995.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.

CARLI, Vilma Maria Inocência (org.). Direito Constitucional Econômico. – Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2015.

FERNANDES, Ciro Campos Christo; SILVA, Mauro Santos; CUNHA, Bruno Queiroz; ALVES, Pedro Assumpção. Arranjos institucionais e a burocracia de infraestrutura: notas para uma história sobre a construção das capacidades estatais no Brasil, Texto para Discussão, No. 2293, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2017.

FGV, Grupo de Economia da Infraestrutura e Soluções Ambientais. Análise do ambiente concorrencial do setor elétrico no Brasil, São Paulo, julho de 2018.

GUERRA, Sérgio. Normatização por entidades reguladoras independentes: uma contribuição para o desafio da tecnicidade. In. GUERRA, Sérgio (coord.). Temas de Direito Regulatório – Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2004.

LAZARO, Lira Luz Benites et al. Energy transition in Brazil: Is there a role for multilevel governance in a centralized energy regime?. Energy Research & Social Science, v. 85, Março 2022, 102404.

LORENZO, Helena Carvalho de. O Setor Elétrico Brasileiro: passado e futuro. Perspectivas - Revista de Ciências Sociais (UNESP), São Paulo, v. 24-25, p. 147-170, 2003.

MAJONE, Giandomenico. From the Positive to the Regulatory State: Causes and Consequences of Changes in the Mode of Governance. *Journal of Public Policy*, 17, pp 139-167, 1997, p. 144.

MARQUES NETO, Floriano de Azevedo. Pensando o controle da atividade de regulação estatal. In. GUERRA, Sérgio (coord.). *Temas de Direito Regulatório*. – Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2004.

MERCEDES, Sonia Seger Pereira; RICO, Julieta A. P.; POZZO, Liliana de Ysasa. Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro. *Revista USP*, São Paulo, n. 104, p. 13-36, janeiro/fevereiro/março 2015.

NESTER, Alexandre Wagner. Medida Provisória 727/2016: Será o retorno do Estado regulador?. Junho 2016, *ConJur*. Disponível em: <conjur.com.br/2016-jun-03/alexandre-nester-mp-7272016-retorno-estado-regulador>. Acesso em: 01 out. 2024.

PACHECO, Regina Silvia. Regulação no Brasil: desenho das agências e formas de controle. *Revista da Administração Pública – RAP*, Rio de Janeiro 40 (4):523-43, Jul./Ago. 2006.

DIAS, José Luciano de Mattos; QUAGLINO, Maria Ana. A questão do petróleo no Brasil: uma história da PETROBRAS. Rio de Janeiro: CPDOC: PETROBRAS, 1993.

ROCKMANN, Roberto (Org.). 20 anos do mercado brasileiro de energia elétrica. - 1. ed. - São Paulo: CCEE, 2019

SALOMÃO FILHO, Calixto. *Regulação da Atividade Econômica: princípios e fundamentos jurídicos*. 2. Ed. – São Paulo: Malheiros, 2008.

SBPC, Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. “Mercado atacadista de energia pode levar à especulação”. *Rwvista ComCiência – Energia: Crise e Planejamento*, julho 2001. Disponível em: <comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/energiaeletrica/energia08.htm>. Acesso em: 01 out. 2024.

TAVARES, Mauricio Lopes; FERREIRA, Elnatan Chagas; DIAS, José Antonio Siqueira. Análise da evolução institucional da atividade de regulação no setor elétrico brasileiro: 1920-1997. In. *Anais do 6º Encontro de Energia no Meio Rural*, 2006, Campinas (SP, Brazil) [online]. 2006. Disponível em: <proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 01 out. 2024.

WALVIS, Alida (Banco do Brasil Plural); GONÇALVES, Edson Daniel Lopes (FGV-CERI). Avaliação das reformas recentes no setor elétrico brasileiro e sua relação com o desenvolvimento do mercado livre de energia. FGV-CERI. Disponível em: <repositorio.fgv.br/items/5d20a5d4-1422-47aa-b816-c46f-d0ad698f>. Acesso em: 01 out. 2024.

MATTOS FILHO

O Mattos Filho é um escritório de alta performance que antecipa tendências e oferece soluções jurídicas inovadoras para transformar desafios jurídicos em oportunidades. Com uma estrutura full-service de excelência e presença no Brasil e no exterior, o escritório garante apoio integral a seus clientes e parceiros, impulsionando a geração de negócios e a tomada de decisões estratégicas.

The background is a solid light green color. It features two large, thick, dark green curved shapes. One shape is in the top right corner, curving from the top edge towards the center. The other shape is in the bottom left corner, curving from the bottom edge towards the center. These shapes create a sense of movement and depth.

Impacto social da transição energética

Análise da contribuição do setor de energia para a transição energética justa

Estamos diante de uma oportunidade decisiva para transformar nosso futuro. O Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) destaca com clareza: é hora de acelerar a transição rumo a uma economia de emissões líquidas zero. Para isso, a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) deve caminhar lado a lado com a promoção de mudanças sistêmicas nos setores de energia, edificações, indústria, transportes, agricultura, silvicultura e uso da terra.

Pode-se enumerar de forma sucinta áreas cruciais para mitigar as mudanças climáticas:

1. Ampliar o uso de energia limpa e da eficiência energética;
2. Adaptar e descarbonizar as edificações;
3. Descarbonizar as indústrias de cimento, aço e plástico;
4. Aumentar o uso de transporte coletivo, bicicleta e caminhadas;
5. Escalonar o uso em massa de veículos elétricos;
6. Descarbonizar o transporte aéreo e marítimo;
7. Combater o desmatamento e restaurar áreas degradadas;
8. Reduzir o desperdício e a perda de alimentos, associados a intensificar as práticas agrícolas neutras em carbono;
9. Fazer mudanças nas dietas alimentares, reduzindo o consumo de carne (IPCC, AR6).

Para que as ações climáticas, incluindo mitigação e adaptação, promovam um futuro mais equilibrado e resiliente, é essencial que estejam fundamentadas nos princípios da transição justa e da justiça climática. O Sexto Relatório do IPCC reforça esse alerta, lembrando que, embora as famílias de menor renda contribuam menos para as emissões globais de GEE, são justamente elas as mais impactadas pelos efeitos das mudanças climáticas. Comunidades vulneráveis, especialmente em regiões tropicais, enfrentam maiores desafios devido à combinação de altas temperaturas e menor acesso a recursos para adaptação. Incorporar justiça social nas soluções climáticas é, portanto, uma oportunidade poderosa para construir um mundo mais justo, inclusivo e preparado para o futuro.

Dessa forma, formuladores de políticas públicas devem desenvolver estratégias de mitigação que promovam uma melhor distribuição dos custos e benefícios advindos da redução de emissões de GEE. O setor privado também tem responsabilidade e pode desenvolver parcerias neste sentido. Por exemplo, diante da iminência de fechamento de algum empreendimento intensivo em carbono, deve-se pensar em políticas de requalificação profissional da mão de obra que perderá seus postos de trabalho.

A transição para uma economia de baixo carbono é necessária e uma grande oportunidade. A boa notícia é que a descarbonização tem o potencial de impulsionar significativamente a geração de emprego e renda. Estimativas globais indicam que um modelo de crescimento sustentável pode gerar benefícios econômicos de até US\$ 26 trilhões até 2030, segundo o *Global Commission on the Economy and Climate* (2018).

No Brasil, esse potencial também é expressivo: até 2030, mais de dois milhões de novos empregos poderiam ser criados, além de um crescimento adicional de R\$ 2,8 trilhões no Produto Interno Bruto (PIB), por meio de ações de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), em comparação com o cenário tradicional baseado em combustíveis fósseis (WRI Brasil, 2020).

Além disso, estudos demonstram que investimentos verdes, como energia limpa, transporte sustentável e soluções baseadas na natureza, geram mais empregos por dólar investido do que atividades intensivas em carbono (Jaeger et al., 2021). A economia verde é, portanto, uma oportunidade concreta de unir desenvolvimento, inclusão social e sustentabilidade.

Essas oportunidades, quando guiadas pelo conceito de transição justa, podem impulsionar o desenvolvimento dos territórios e reduzir desigualdades no Brasil. No caso da energia renovável, o maior potencial eólico e solar está em regiões do interior, geralmente mais pobres e com menos recursos que as capitais. Assim, se os impostos gerados forem bem aplicados, poderão financiar melhorias em saúde, educação e economia local, promovendo mais qualidade de vida para as comunidades.

Este capítulo tem como objetivo refletir sobre as bases da justiça climática, a partir das quais o setor de energia pode assumir um papel estratégico na promoção do desenvolvimento econômico do país, com foco no combate à pobreza e à desigualdade.

Transição justa e justiça climática

O conceito de justiça climática nasce de um longo processo de disputas e debates, tendo o movimento por justiça ambiental como base. Esse movimento surgiu nos Estados Unidos, nos anos 1960, quando acadêmicos e ativistas denunciaram que comunidades marginalizadas, em especial minorias raciais, sofriam mais com impactos ambientais negativos.

Na década de 1970, ganhou força com casos emblemáticos como o do Canal do Amor e o do Condado de Warren (Fletcher, 2003). No primeiro, o bairro Canal do Amor em Niágara Falls (NY) foi construído sobre 22 mil toneladas de resíduos tóxicos, causando graves problemas de saúde e levando à criação da Lei do Superfundo para limpar áreas contaminadas. Já em 1982, no Condado de Warren (Carolina do Norte), a tentativa de descarte de 60 mil toneladas de resíduos contaminados (PCBs) gerou protestos liderados por moradores negros. O episódio não impediu o despejo, mas expôs nacionalmente o racismo ambiental, comprovado depois por relatório federal de 1983.

Assim, o movimento por justiça ambiental se consolidou e trouxe à tona o conceito de racismo ambiental, fortalecendo a luta por justiça climática.

Entre os anos 1980 e 2000, os debates sobre justiça ambiental e climática se ampliaram. No final dos anos 1980 surgiu a ideia de transição justa, criada pelo movimento sindical norte-americano diante do fechamento de indústrias, como a do carvão, e seus efeitos sobre os trabalhadores. A partir dos anos 1990, o conceito entrou na agenda

internacional, presente na Primeira Cúpula de Justiça Ambiental (1991) e na Cúpula da Terra (1992, no Rio de Janeiro).

Em 2009, o conceito foi consolidado pela Organização Internacional do Trabalho (OIT), que definiu a transição justa como o processo de descarbonização da economia com inclusão social, geração de empregos e garantia de que ninguém seja deixado para trás.

Desde então, o tema ganhou destaque nas Conferências do Clima (COPs), entrando oficialmente na pauta em 2010 (COP 16), reforçado pelo Acordo de Paris (2015), ampliado para comunidades afetadas na COP 24 (2018) e resultou na criação do Fundo de Perdas e Danos nas COPs 26 e 27 (2021 e 2022). A COP 28 avançou com o Programa de Trabalho sobre Transição Justa, e a COP 29 fortaleceu a pauta de gênero, prevendo um Plano de Ação de Gênero que foi aprofundado na COP 30, em Belém do Pará.

Ao longo dos anos, o conceito também foi incorporado nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) dos países (Barreiros et al., 2025) e representa uma ferramenta prática para transformar a justiça climática em ações concretas, orientando a transição para economias de baixo carbono de forma mais equitativa e sustentável.



Segundo as Nações Unidas, justiça climática é o conceito usado para enquadrar o aquecimento global como uma questão ética e política, e não apenas ambiental. Isso implica colocar as populações mais vulneráveis no centro das decisões climáticas. Tal abordagem conecta-se diretamente ao conceito de transição energética justa, que visa garantir que a transição para uma economia de baixo carbono não cause nem perpetue violações de

direitos humanos – promovendo inclusão, justiça e dignidade para todos (*United Nations*, 2019; 2023, citados por Pacto Global Rede Brasil & FGV CeDHE, 2024).

No contexto brasileiro, marcado por desigualdades sociais históricas, o conceito ganha ainda mais importância, oferecendo benefícios para o desenvolvimento de áreas remotas e vulneráveis, através de medidas de redução de GEE. A expansão da geração renovável é paradigmática neste sentido, conforme será apresentado nas próximas seções. É uma importante contribuição do setor de energia, junto à NDC brasileira, cuja atualização foi apresentada na COP 29, colocando a justiça climática como visão para 2035.

No cenário nacional, além dos conceitos de justiça climática e transição justa, destaca-se também o de pobreza energética, que diz respeito à falta de acesso a serviços energéticos modernos por parcelas da população. Essa privação compromete atividades cotidianas como cozinhar, aquecer, iluminar e utilizar aparelhos elétricos, afetando negativamente a saúde, a qualidade de vida e a economia das famílias. Promover o acesso à energia renovável para a população de baixa renda é uma das metas do Programa de Transformação Ecológica brasileiro, principal plano de investimentos para a implementação da NDC nacional.

Contribuição do setor de energia para a transição justa

Diferentemente do resto do mundo, onde as emissões do setor de energia correspondem a cerca de dois terços das emissões totais de GEE, no Brasil, as emissões desse setor representam somente 18% das emissões totais do país, enquanto o desmatamento (46%) e a agropecuária (27%) são os principais responsáveis. A geração de eletricidade representa só 1,6% das emissões totais (Observatório do Clima, 2025), reflexo do uso expressivo de fontes renováveis como água, vento e sol.

Ainda assim, a expansão das energias limpas é essencial. O Plano Nacional de Energia 2050 prevê que o consumo de eletricidade triplicará, exigindo maior participação de eólica e solar, já que as mudanças climáticas intensificam o estresse hídrico.

Complementarmente, setores intensivos em carbono, como a indústria de aço e química e o de transportes podem se beneficiar do potencial do hidrogênio verde. Produzido a partir de fontes eólica e solar, o hidrogênio verde não libera GEE nem poluentes nocivos

à saúde, apoiando tanto o combate às mudanças climáticas quanto à poluição do ar. Igualmente importante é a geração de energia renovável para abastecer o aumento do uso de veículos elétricos.

Com um dos maiores potenciais eólicos e solares do mundo, o Brasil pode se destacar globalmente, fortalecendo sua competitividade em mercados que valorizam produtos de baixa intensidade de carbono, como já ocorre na União Europeia com a taxação do carbono.

Todo este contexto é reconhecido pela NDC brasileira. O documento tem dentre os Objetivos Nacionais de Mitigação:

- “Ampliar a participação das tecnologias e fontes limpas, renováveis e de baixo carbono na matriz elétrica nacional, garantindo a segurança e acessibilidade energética de todos”.
- “Transformar as vantagens comparativas brasileiras em vantagens competitivas, tornando o país um provedor de bens, serviços e soluções climáticas para um mundo em transição para modelos de desenvolvimento de baixo carbono”.

Tudo isso assentado na visão de justiça climática já citada.

Há vantagens econômicas, sociais e para o bem-estar social na expansão do uso de energias renováveis. Estima-se que a poluição do ar aumenta em 75% o risco de ataque cardíaco em comparação com cidades de ar limpo (Olmo et al, 2011), causa danos a vários sistemas do corpo e gera custos anuais de cerca de US\$ 1 bilhão ao Brasil.

No campo dos benefícios para geração de emprego e renda, conforme destacam Simas & Paca, 2013, as usinas eólicas e solares, geralmente localizadas em áreas rurais, criam empregos na construção, operação e manutenção, além de estimular a capacitação profissional. Apesar de muitos cargos exigirem alta qualificação, eles podem gerar renda estável e novas oportunidades nas comunidades.

Além da geração de empregos na fase de construção, cresce também a demanda por hospedagem, alimentação e serviços locais, dinamizando a economia e fortalecendo o comércio. Esse ciclo positivo amplia o poder de compra e gera benefícios duradouros para a população das regiões onde os projetos são instalados.

A geração eólica no Brasil ocorre por meio de contratos de arrendamento com os proprietários rurais, que recebem uma remuneração extra sem precisar interromper suas atividades agrícolas. Essa renda adicional pode ser usada para melhorar a produção, investir em infraestrutura e facilitar o acesso a crédito. Assim, os contratos ajudam a manter a população no campo, fortalecem a agricultura familiar e estimulam a economia local.

Dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica, 2025) revelam que, para cada R\$ 1 investido no setor eólico, há um impacto de R\$ 2,90 sobre o Produto Interno Bruto (PIB), e cada *megawatt* (MW) instalado por meio de parques eólicos tem o potencial de gerar 11 postos de trabalho associados. Um estudo premiado do IRFFI et al. (2025) confirma que, especialmente no Nordeste, os parques eólicos aumentam o emprego, o PIB *per capita* e o Valor Bruto Adicionado (VBA) dos setores industrial e de serviços.

Na energia solar, os resultados também são expressivos. Desde 2012, o setor já investiu R\$ 254 bilhões, arrecadou R\$ 79,2 bilhões em tributos e criou mais de 1,6 milhão de empregos, segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar, 2025).

A expansão da geração de energia renovável é acompanhada também por investimentos na infraestrutura do sistema elétrico, como transmissão e distribuição. Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE 2034 (Empresa de Pesquisa Energética, 2025), o setor pode receber R\$ 128,6 bilhões até 2034, sendo 69% em linhas de transmissão e 31% em subestações, o que gera empregos e renda, sobretudo no interior.

Pela lente da justiça climática, esses avanços devem vir acompanhados de gestão responsável, evitando impactos negativos em comunidades indígenas e tradicionais, que já são vulneráveis às mudanças climáticas sem, no entanto, contribuírem para tal. Para isso, empresas precisam adotar procedimentos de devida diligência em direitos humanos, identificando e mitigando riscos de forma contínua.



Além disso, os processos de licenciamento ambiental devem ser constantemente atualizados, garantindo a proteção da biodiversidade e dos ecossistemas, fundamentais para assegurar às comunidades o direito a um ambiente limpo, saudável e sustentável.

Tomando como referência: os Princípios Orientadores da ONU sobre Empresas e Direitos Humanos e a Mudança do Clima (OHCHR, 2023); recomendações do Pacto Global da ONU; e premissas da Organização Internacional do Trabalho (OIT), documento da Rede Brasil do Pacto Global destaca recomendações e responsabilidades das empresas do Setor de Energia na transição energética justa (Pacto Global Rede Brasil & FGV CeDHE, 2025 pp27-29); as empresas devem:

- Garantir que todos os programas de transição energética estejam alinhados aos direitos humanos internacionais e sejam inclusivos, considerando questões étnicas e de gênero;
- Implementar devida diligência em direitos humanos, integrando aspectos sociais, econômicos, culturais e climáticos;
- Adotar medidas corretivas imediatas para encerrar programas que violem direitos humanos, com atenção especial a grupos vulneráveis;
- Evitar que pessoas impactadas sejam expostas a novas situações de vulnerabilidade social ou climática;
- Considerar sempre os impactos climáticos, inclusive os de longo prazo em áreas sensíveis como sumidouros de carbono;
- Garantir condições dignas de trabalho, processos de reparação justos e tolerância zero a abusos contra trabalhadores, comunidades e defensores de direitos humanos;
- Definir responsabilidades claras do conselho diretor sobre direitos humanos e ambientais, incluindo análise de denúncias e monitoramento de resultados;
- Assegurar a participação efetiva de povos indígenas e comunidades tradicionais na identificação de riscos e na definição de medidas de prevenção e reparação;
- Promover negociações justas em modelos de ativos compartilhados, garantindo processos acessíveis, seguros e culturalmente adequados;

- Ser transparente com colaboradores sobre metas e ações da transição energética, assegurando oportunidades e trabalho digno;
- Produzir relatórios claros e confiáveis, evitando práticas de *greenwashing* e alegações enganosas;
- Proteger os ecossistemas locais, preservando biodiversidade, florestas e serviços ambientais essenciais para comunidades rurais e costeiras.

O estudo mais recente do Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), em parceria com a Iniciativa Empresarial Global sobre Direitos Humanos (GBI), destaca que a justiça climática é essencial para uma transição energética adequada. As empresas devem adotar devida diligência em direitos humanos de forma integrada às práticas climáticas, identificando riscos ambientais e considerando vulnerabilidades das comunidades afetadas, com amplo engajamento das partes interessadas (CEBDS, GBI, 2024).

Princípios claros de governança corporativa permitem conciliar desenvolvimento, conservação dos ecossistemas e respeito aos direitos humanos, sendo fundamentais para a adoção de boas práticas e uma transição justa. Diversos países como França, Noruega, Alemanha e a própria União Europeia, já exigem comprovação da aplicação da devida diligência pelas empresas.

Contribuição da Neoenergia para a transição energética justa

A Neoenergia é líder na transição energética no Brasil, com mais de 28 anos de atuação e presença em 18 estados e no Distrito Federal. Seus negócios abrangem distribuição, transmissão, geração e comercialização, atendendo cerca de 16,7 milhões de clientes, o equivalente a uma população de quase 40 milhões de pessoas.

Na geração, possui 4,4 GW de capacidade instalada, sendo 88% renovável; em transmissão, opera 3,8 mil km de linhas e tem 5,3 mil km em construção. Oferece soluções para descarbonização, incluindo hidrogênio verde, e gera 42 mil empregos diretos, contribuindo para o desenvolvimento econômico regional.

Por meio do Instituto Neoenergia, realiza ações socioambientais voltadas a comunidades vulneráveis, promovendo desenvolvimento sustentável. A empresa integra fontes renováveis, infraestrutura eficiente e governança robusta para apoiar a transição energética e o combate às mudanças climáticas.

A Neoenergia segue os dez princípios do Pacto Global da ONU, promovendo direitos humanos, meio ambiente, combate à corrupção e ODS, com políticas voltadas à biodiversidade, ação climática, engajamento de comunidades e devida diligência em direitos humanos. Seus negócios priorizam igualdade de oportunidades, uso sustentável de recursos e universalização do acesso à energia.



Transição energética gera oportunidades

A mobilização necessária para enfrentar a emergência climática envolve esforços não só dos Estados Nação, como dos agentes privados e da sociedade civil. Este artigo debateu o papel do setor privado, mais especialmente do setor de energia brasileiro, para alavancar a descarbonização da economia sob bases sustentáveis e de inclusão social.

A boa notícia é que há inúmeras oportunidades de geração de emprego e renda que contribuem para o desafio histórico do Brasil de combater as desigualdades sociais e a pobreza. A eletrificação da economia demanda investimento em infraestrutura verde, geralmente promovida no interior do país, dinamizando as economias locais através da renda e tributos gerados, beneficiando comunidades vulneráveis destas localidades.

Simultaneamente, é essencial que os empreendimentos minimizem impactos sobre ecossistemas e protejam as comunidades locais, garantindo que a redução de GEE não aumente a vulnerabilidade climática. Ferramentas como a devida diligência em direitos humanos permitem prevenir violações aos direitos humanos de colaboradores e comunidades, promovendo justiça climática na transição energética.

O engajamento das partes interessadas garante que os interesses locais e empresariais sejam equilibrados, e empresas com governança ESG robusta incorporam responsabilidade social, diversidade, igualdade de gênero e preservação ambiental em suas estratégias. Avanços regulatórios internacionais, como a Diretiva Europeia de 2024, e projetos de lei no Brasil (PL 572/22) reforçam a obrigação de devida diligência em direitos humanos, oferecendo segurança jurídica e incentivando práticas responsáveis.

A discussão regulatória é importante porque traz segurança jurídica para a atuação empresarial e inibe a competição desleal. A emergência climática só poderá ser enfrentada por meio de uma transição energética justa e isso significa que a energia renovável, para além dos atributos ambientais, deve carregar atributos sociais. Assim, a eletrificação e descarbonização da economia brasileira poderá ser uma importante alavanca para o desenvolvimento territorial, em benefício das comunidades.

Referências

ABEEÓLICA. Guia de Boas Práticas Socioambiental do Setor Eólico. São Paulo: ABEEólica, 2024. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/abeeolica-lanca-guia-de-boas-praticas-sociambiental-do-setor-eolico/>. Acesso em: 09 maio 2025.

ABSOLAR. Infográfico do Setor Solar Fotovoltaico. São Paulo: ABSOLAR, 2025. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 09 maio 2025.

BARREIROS, Rogger; et al. Entenda o que é justiça climática. WRI Brasil, 11 fev. 2025. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/entenda-o-que-e-justica-climatica#:~:text=A%20justi%C3%A7a%20clim%C3%A1tica%20%C3%A9%20considerada,desigualdades%20e%20promova%20a%20resili%C3%Aancia>. Acesso em: 09 maio 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. NDC do Brasil: Nova Contribuição Nacionalmente Determinada. Brasília: MMA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/brasil-entrega-a-onu-nova-ndc-alinhada-ao-acordo-de-paris/ndc-versao-em-portugues.pdf>. Acesso em: 09 maio 2025.

Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Integração dos direitos humanos às ações climáticas empresariais: Recomendações a partir da prática corporativa. Rio de Janeiro: CEBDS, 2024.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Plano Decenal de Expansão de Energia 2034. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2025. 300 p.

FLETCHER, THOMAS H. From Love Canal to Environmental Justice: The Politics of Hazardous Waste on the Canada - U.S. Border. University of Toronto Press, 2003. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/10.3138/j.ctt2ttgk4>. Acesso em: 9 May 2025.

Global Commission on the Economy and Climate. Unlocking the Inclusive Growth Story of the 21st Century: Accelerating Climate Action in Urgent Times. Washington, DC: World Resources Institute, 2018.

International Labour Organization (ILO). Skills for a Greener Future: A Global View Based on 32 Country Studies. Geneva: ILO, 2019. 200 p.

IPCC. Mudança do Clima 2023: Relatório Síntese. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima [Equipe Principal de Redação, H. Lee e J. Romero (eds.)]. Genebra, Suíça: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch>. Acesso em: 09 maio 2025.

JAEGER, Joel; et al. The Green Jobs Advantage: How Climate-Friendly Investments Are Better Job Creators. Washington, DC: World Resources Institute, 2021. Disponível em: <https://newclimateeconomy.net/sites/default/files/2023-08/the-green-jobs-advantage-how-climate-friendly-investments-are-better-job-creators.pdf>. Acesso em: 09 maio 2025.

Ministério de Minas e Energia. PNE 2050 - Plano Nacional de Energia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2020. 200 p.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Plataforma SEEG. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br>. Acesso em: 09 maio 2025.

OLMO, Neide Regina Simoes; et al. A review of low-level air pollution and adverse effects on human health: implications for epidemiological studies and public policy. Clinics, São Paulo, v. 66, n. 4, p. 681-690, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/clin/a/NKVCdJsDBcqYH7zDqF99dR/?lang=en>. Acesso em: 09 maio 2025.

Pacto Global da ONU no Brasil. Justiça Climática para o Setor de Energia - Responsabilidade das Empresas do Setor na Transição Energética Justa - Contexto e Recomendações. São Paulo: Pacto Global da ONU no Brasil, 2024. 50 p.

IRFFI, Guilherme; et al. Avaliação de impacto do financiamento do FDNE na construção de Parques Eólicos e seus efeitos no mercado de trabalho e indicadores econômicos dos municípios na área de atuação da Sudene. Cadernos de Finanças Públicas, Brasília, v. 17, n. 1, p. 45-67, 2025. Disponível em: <https://publicacoes.tesouro.gov.br/index.php/cadernos/article/view/266/318>. Acesso em: 09 maio 2025.

SIMAS, Moana; PACCA, Sergio. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. Estudos Avançados, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 119-138, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142013000100008>. Acesso em: 09 maio 2025.

UN WOMEN; UNIDO. Gender Equality in the Sustainable Energy Transition. New York; Viena: UN Women; UNIDO, 2023. Disponível em: <https://www.unwomen.org/sites/default/files/2023-05/Gender-equality-in-the-sustainable-energy-transition-en.pdf>. Acesso em: 09 maio 2025.

UNITED NATIONS. Guiding Principles on Business and Human Rights: Implementing the United Nations 'Protect, Respect and Remedy' Framework'. 2011. Disponível em: https://www.ohchr.org/sites/default/files/documents/publications/guidin-gprinciplesbusinesshr_en.pdf. Acesso em 25 set. 2023

VAZQUEZ, Rafael. Ar piora com mudanças climáticas e já custa US\$ 1 bi por ano ao Brasil. Valor Econômico, São Paulo, 10 fev. 2025. Disponível em: <https://valor.globo.com/brasil/noticia/2025/02/10/ar-piora-com-mudancas-climaticas-e-ja-custa-us-1-bi-por-ano-ao-brasil.ghtml>. Acesso em: 09 maio 2025.

WRI BRASIL. Uma Nova Economia para uma Nova Era: Elementos para a Construção de uma Economia Mais Sustentável. São Paulo: WRI Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/publicacoes/uma-nova-economia-para-uma-nova-era-elementos-para-construcao-de-uma-economia-mais>. Acesso em: 09 maio 2025.



A Neoenergia, subsidiária da Iberdrola no Brasil, atua nas áreas de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia no país. A companhia está presente em 18 estados e no Distrito Federal, sendo a principal empresa privada de eletricidade com presença no negócio de redes listada na B3 de São Paulo. Há 28 anos, a Neoenergia trabalha para construir um modelo de energia elétrica mais sustentável e acessível para os brasileiros. Alinhada ao movimento global de transição energética e descarbonização da economia, a companhia foi pioneira no país na geração de energia renovável, investindo na fonte eólica desde o início dos anos 2000.

The background is a solid light green color. It features two large, thick, dark green curved shapes that resemble parts of circles or arcs. One arc is in the top right corner, and the other is in the bottom left corner, creating a sense of movement and modern design.

O papel do gás natural na transição energética

A transição energética é um dos maiores movimentos estruturais da economia global neste século. Trata-se da mudança de um modelo baseado majoritariamente em combustíveis fósseis para uma matriz cada vez mais limpa, diversificada e de baixo carbono. O objetivo é reduzir as emissões de gases de efeito estufa, combater as mudanças climáticas, garantir segurança energética e promover desenvolvimento econômico sustentável.

Nesse cenário, o gás natural ocupa uma posição estratégica. Embora seja um combustível fóssil, ele é reconhecido como o de menor intensidade de carbono entre seus pares e, por isso, é considerado um combustível de transição, ou seja, um energético capaz de apoiar a substituição de fontes mais poluentes enquanto as renováveis ampliam sua participação de forma estrutural e segura.

Transição energética: um processo gradual e integrado

A transição energética não ocorre de forma abrupta. Ela exige planejamento, investimentos, inovação tecnológica e coordenação entre governos, empresas e sociedade. Esse processo envolve três grandes frentes:

Descarbonização progressiva: a redução das emissões não se limita à troca de combustíveis. Envolve também tornar mais eficientes os processos produtivos, modernizar equipamentos, reduzir perdas e adotar tecnologias mais limpas em todos os setores da economia.



Eletrificação de consumos: sempre que possível, o uso direto de combustíveis fósseis é substituído por eletricidade, idealmente gerada a partir de fontes renováveis. É o caso dos veículos elétricos e da automação de processos industriais.

Expansão de combustíveis de baixo carbono: biocombustíveis, biogás, biometano e hidrogênio de baixa emissão passam a complementar a matriz energética, muitas vezes aproveitando infraestruturas já existentes.

É nesse contexto que o gás natural se insere como elemento de equilíbrio, viabilizando a transição com segurança e menor impacto ambiental.

Por que o gás natural é estratégico?

O gás natural é considerado o combustível fóssil mais limpo, emitindo menos dióxido de carbono (CO_2) e poluentes locais do que o carvão, o óleo combustível e o *diesel*. Sua versatilidade permite aplicações nos setores industrial, residencial, comercial, de geração elétrica e de transportes.

Além disso, sua infraestrutura já está amplamente estabelecida em diversas regiões, o que possibilita ganhos ambientais relevantes no curto e médio prazo sem a necessidade de transformações imediatas e profundas nos sistemas energéticos.

Globalmente, organizações como a Agência Internacional de Energia (IEA) indicam que o gás natural continuará tendo papel relevante nas próximas décadas, especialmente como suporte à expansão das fontes renováveis intermitentes, como solar e eólica.

Gás natural e o sistema elétrico

A expansão das energias renováveis é essencial para a descarbonização, mas fontes como solar e eólica dependem de condições climáticas e não geram energia de forma contínua. Nesse cenário, as usinas termelétricas a gás natural exercem função complementar estratégica.

Elas oferecem flexibilidade e confiabilidade ao sistema elétrico, podendo ser acionadas rapidamente quando há queda na geração hídrica, solar ou eólica. Dessa forma, o gás natural contribui para a estabilidade do fornecimento de energia, evitando apagões e garantindo segurança energética durante a transição.

No caso brasileiro, cuja matriz elétrica já é majoritariamente renovável, o gás natural funciona como um importante “seguro energético”, apoiando a integração de fontes limpas variáveis.

Descarbonização da indústria e dos transportes

Alguns setores são considerados de difícil descarbonização, especialmente a indústria pesada e o transporte de cargas. Nesses casos, o gás natural desempenha papel fundamental.



Indústria: o gás natural substitui combustíveis mais poluentes em processos térmicos, como na produção de cerâmica, vidro, papel e celulose, alimentos e siderurgia. Isso reduz emissões, melhora a eficiência energética e aumenta a competitividade industrial.

Transporte pesado: no transporte rodoviário de cargas, a substituição do diesel por gás natural pode reduzir significativamente as emissões de CO₂ e de poluentes atmosféricos, como material particulado e óxidos de nitrogênio. Além disso, contribui para reduzir a dependência de combustíveis líquidos importados.

A criação de corredores sustentáveis, com infraestrutura de abastecimento para caminhões a gás, já é uma realidade em algumas regiões do Brasil, reforçando esse movimento.

Interiorização do gás e desenvolvimento regional

Um dos grandes desafios do setor no Brasil é a concentração da infraestrutura de gás natural no litoral. Apesar do crescimento da produção, especialmente com o pré-sal, muitas regiões do interior ainda têm acesso limitado ao energético.

A interiorização do gás, por meio da expansão de gasodutos, uso de gás natural liquefeito (GNL), gás natural comprimido (GNC) e “gasodutos virtuais”, permite levar energia mais limpa a novas áreas do país. Isso tem impactos diretos:

- Aumento da competitividade de cadeias produtivas regionais
- Redução de custos energéticos para indústrias locais
- Substituição de combustíveis mais poluentes
- Geração de emprego e renda

Esse movimento também contribui para a justiça energética, ampliando o acesso a fontes mais eficientes e menos emissoras fora dos grandes centros.

Biometano: a ponte entre o gás e as renováveis

Um dos pontos mais promissores da transição é a integração entre gás natural e gases renováveis, especialmente o biometano. Produzido a partir de resíduos agropecuários, urbanos e do saneamento, o biometano pode ser injetado na mesma rede de distribuição do gás natural fóssil.

Isso permite uma descarbonização progressiva da própria infraestrutura de gás, sem necessidade de grandes mudanças nos equipamentos dos consumidores. Assim, a rede existente se transforma em uma plataforma para a distribuição de energia renovável.

O desenvolvimento desse mercado depende de marcos regulatórios claros, incentivos à produção e integração com políticas de resíduos, saneamento e agricultura sustentável.

Desafios para o futuro

Apesar de seu papel estratégico, o gás natural não é o destino final da transição energética. Seu uso precisa estar alinhado às metas climáticas de longo prazo, evitando a dependência prolongada de ativos fósseis.

Entre os principais desafios estão:

- Expansão e modernização da infraestrutura
- Redução de gargalos no escoamento e transporte
- Abertura de mercado e aumento da concorrência
- Estimulo ao biometano e a gases de baixo carbono
- Integração com políticas climáticas e industriais

Com planejamento adequado, o gás natural pode cumprir sua função de combustível de transição, viabilizando a redução de emissões enquanto o país avança na adoção de fontes renováveis e tecnologias de baixo carbono.

Conclusão

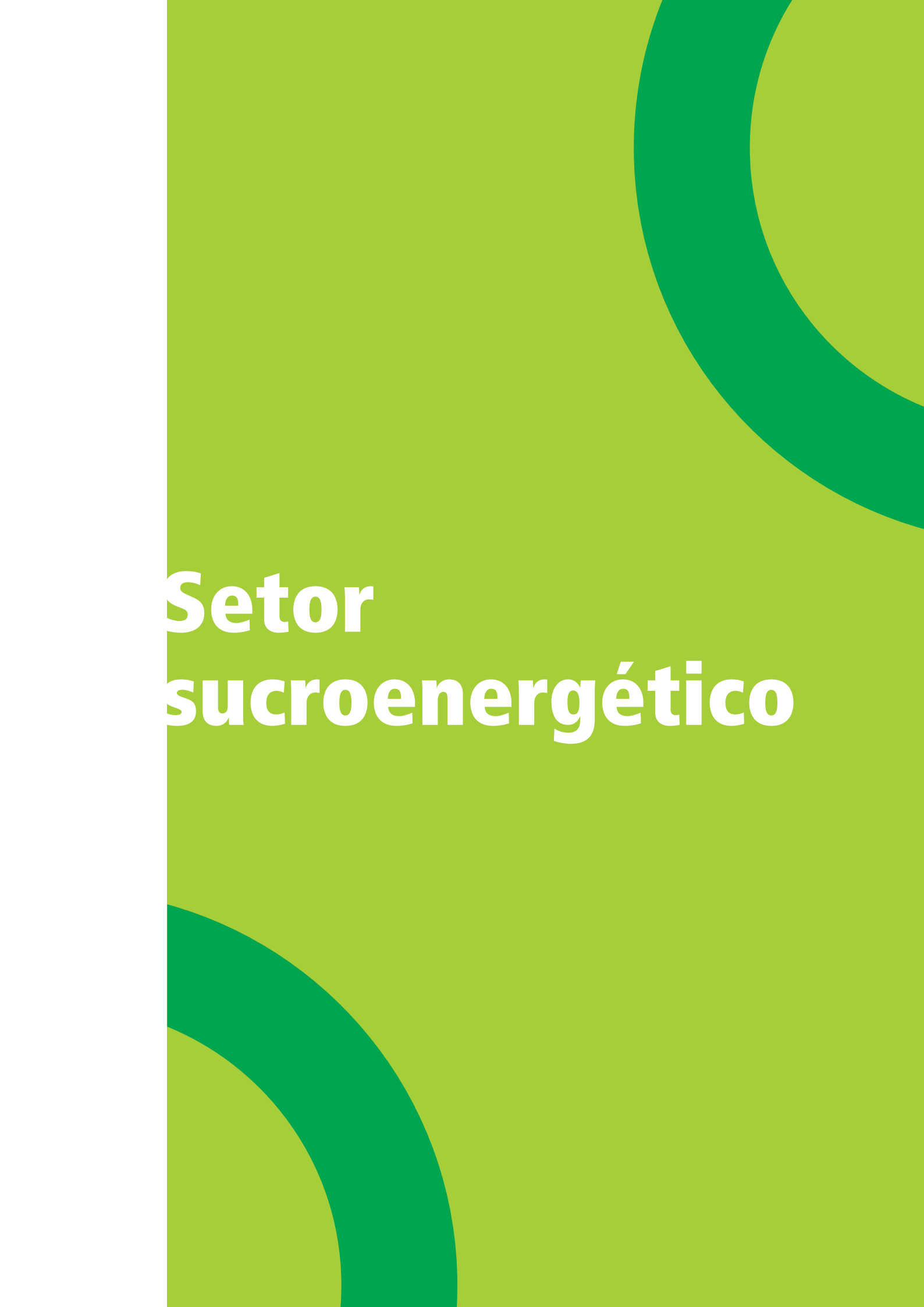
O gás natural é um dos pilares da transição energética, especialmente em países como o Brasil, que já possuem matriz elétrica limpa, mas ainda enfrentam desafios na indústria, no transporte pesado e na interiorização do acesso à energia.

Além de substituir combustíveis, o gás natural atua como vetor de integração entre o sistema atual e o futuro energético de baixo carbono. Quando combinado ao biometano, à inovação tecnológica e a políticas públicas consistentes, ele contribui para uma matriz mais segura, eficiente, competitiva e ambientalmente responsável.

Assim, o gás natural não representa um obstáculo à transição, mas sim uma ferramenta estratégica para torná-la possível de forma gradual, segura e socialmente inclusiva.



A Naturgy é uma multinacional líder no setor de gás e eletricidade na Espanha e na América Latina, com aproximadamente 18 milhões de clientes em mais de 20 países. Em 28 anos de gestão privada, a Naturgy investiu R\$ 11,3 bilhões no estado do Rio de Janeiro, sendo o segundo maior grupo em vendas de gás natural no Brasil. Desde então, a Naturgy firmou-se como protagonista no desenvolvimento da rede de distribuição de gás no país. O Rio de Janeiro é hoje o estado com o maior nível de gaseificação do Brasil: 17,4% de suas residências têm acesso ao gás natural, em comparação com uma média nacional de apenas 7%. A Naturgy modernizou a infraestrutura de gás existente, triplicou sua rede de distribuição para mais de 6,5 mil quilômetros no estado do Rio de Janeiro, ampliou de 1 para 50 os municípios atendidos e dobrou o número de clientes, que hoje já ultrapassa 1,1 milhão. A empresa também atua no sul do estado de São Paulo, onde está presente em 18 municípios.

The background is a solid light green color. It features two large, thick, dark green curved shapes. One shape is in the top right corner, curving from the top edge towards the right. The other shape is in the bottom left corner, curving from the bottom edge towards the left. These shapes create a sense of movement and depth.

Setor sucroenergético

Panorama geral do setor sucroenergético no Brasil

- São 345 unidades produtoras em atividade hoje no país.
- US\$ 19,8 bilhões em divisas externas geradas durante o ciclo de abril de 2023 a março de 2024, com as exportações de açúcar e etanol.
- Como resultado, o setor sucroenergético foi o quarto segmento na pauta de exportação do agronegócio do Brasil naquele ano, superado apenas pelo complexo da soja, carnes e produtos florestais.
- Valor bruto movimentado pela cadeia sucroenergética supera US\$ 100 bilhões, com um PIB de aproximadamente US\$ 40 bilhões (montante equivalente a cerca de 2% do PIB brasileiro).
- A primeira fonte de energia renovável do país é a cana-de-açúcar, responsável por 15,4% da matriz nacional ou 33% de toda a energia renovável ofertada. Este percentual já posiciona o Brasil (47,4%) acima da média mundial (14,1%) e dos países desenvolvidos da OCDE (11,5%) no uso de energias limpas e renováveis.

Produção de cana-de-açúcar para energia

- O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com cerca de 715 milhões de toneladas processadas na safra de 2023/2024. A região Centro-Sul responde por 92% desta quantidade, enquanto os 8% restantes cabem aos estados da região Norte-Nordeste.
- É também o maior produtor (45,9 milhões de toneladas) e o maior exportador de açúcar do mundo, com 35,3 milhões de toneladas exportadas no ciclo 2023/2024 – esse valor corresponde a 25% da produção global e 50% da exportação mundial.
- E o segundo maior produtor de etanol (*ranking* liderado pelos Estados Unidos). Na safra 2023/2024, o volume produzido atingiu 35,9 bilhões de litros. Desse total, 6,27 bilhões de litros foram produzidos a partir do milho.



Impacto social

- Mais de 730 mil empregos formais gerados apenas pelo setor produtivo. Somados os empregos indiretos gerados pelo setor, temos cerca de 2,2 milhões de pessoas empregadas na cadeia da cana-de-açúcar.
- Segundo estudo de Moraes, Bacchi e Caldarelli (2016), a presença de usinas e área de cana-de-açúcar apresenta os seguintes impactos na economia local: aumento da área de cana-de-açúcar em 10% gera uma elevação imediata do PIB médio *per capita* de US\$ 76. A existência de uma planta de etanol no município eleva o PIB médio *per capita* no ano de instalação da usina em US\$ 1.098, enquanto o das 15 cidades mais próximas têm acréscimo médio de US\$ 458.
- Esses efeitos positivos da expansão canavieira também são observados ao longo do tempo: após dez anos de instalação da planta de açúcar ou de etanol, o aumento no PIB médio *per capita* é de US\$ 1.029 no próprio município e de US\$ 324 para os 15 vizinhos mais próximos.
- O número de produtores rurais de cana-de-açúcar independentes é relevante: cerca de 70 mil fornecedores.

Sustentabilidade e benefícios ambientais

- Hoje, apenas 1,2% do território brasileiro é utilizado para o cultivo de cana-de-açúcar, sendo que 0,9% destinam-se à produção de etanol (cana e milho).
- Consumo de etanol pelos veículos flex em substituição à gasolina reduz as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em até 90%. Não há nenhum outro país que tenha uma frota de 31,5 milhões de veículos aptos a utilizarem qualquer combinação de gasolina e etanol.
- O consumo de etanol hidratado pelos automóveis flex, combinado à mistura atual obrigatória de 27% de etanol anidro na gasolina, reduziu a emissão de gases de efeito estufa (GEE) em mais de 660 milhões de toneladas de CO₂eq¹² desde março de 2003 (data do lançamento dos veículos flex no Brasil), até dezembro de 2023. Para atingir a mesma economia de CO₂ seria preciso plantar mais de 5 bilhões de árvores nativas durante os próximos 20 anos.
- O etanol produzido pelo setor sucroenergético (anidro e hidratado) atualmente é responsável por cerca de 41,3% da energia consumida pelos veículos leves no Brasil (demanda do ciclo Otto em 2023).

Protocolo Ambiental Etanol Mais verde

- Assinado em 2007, o Protocolo Agroambiental Etanol Verde antecipou em 16 anos o fim do uso do fogo como método pré-colheita no estado de São Paulo. O ano de 2017 marcou o fim da queima em São Paulo.
- Renovado em 2017 como Etanol Mais Verde, o protocolo consolidou as metas assumidas no acordo e reafirmou boas práticas que já vinham sendo adotadas: adequação ao Código Florestal, técnicas de conservação do solo, conservação e reúso da água, proteção à fauna, preservação e combate a incêndios florestais.
- A criação do protocolo possibilitou a proteção e recuperação de mais de 8 mil nascentes d'água. Nesse período, o consumo de água no processamento da cana foi reduzido em mais de 95%, passando de 5m³/ton para os atuais 0,7 m³/ton.

- Além disso, foram plantadas 54 milhões de mudas nativas desde o início da vigência do protocolo, em 2007.

Bioeletricidade: energia elétrica a partir da biomassa

- A biomassa da cana também gera bioeletricidade. Limpa e renovável, a energia é gerada próxima aos centros consumidores de energia elétrica, reduzindo as perdas do sistema e a necessidade de investimentos em transmissão. Trata-se de uma geração não intermitente e complementar à geração hídrica (potencial de geração de bioeletricidade pelas usinas da região Centro-Sul do País concentra-se entre abril e novembro, período mais seco do ano).
- A geração de bioeletricidade, a partir da biomassa de cana, para a rede no ano de 2023 foi de 21 TWh. Esse montante equivaleria a quase 25% da geração de energia elétrica pela Usina Itaipu em 2023 ou a atender 4% de todo consumo nacional do Brasil em 2023 ou 10,8 milhões de unidades consumidoras residenciais.

Políticas públicas

No Brasil, temos bons exemplos de políticas que, ao longo dos anos, incentivaram o desenvolvimento do setor produtivo. Embora o início do uso de etanol no setor automotivo data de 1931, o primeiro grande salto no Brasil se deu com o programa Proálcool, na década de 1970.

À época, o objetivo era primordialmente garantir o abastecimento em um cenário de escassez. Contudo, sua principal característica foi percebida apenas décadas depois: em um mundo aflito pelos efeitos das mudanças climáticas, percebeu-se que o etanol era capaz de reduzir as emissões de GEE, contribuindo, assim, para a mobilidade sustentável.

Tudo isso ganhou ainda mais sentido a partir do Acordo de Paris. Na 21ª Conferência do Clima, em 2015, tornou-se evidente que as ações para reduzir o aquecimento global abrangem, necessariamente, a descarbonização da matriz de transportes. À luz das metas voluntárias do Brasil para reduzir emissões no setor, o país se empenhou para construir um novo marco legal para os biocombustíveis, com o RenovaBio (2017), Mover (2024) e Combustível do Futuro (2024).

RenovaBio: instituído em 2017, é considerado o maior programa de substituição de combustíveis fósseis por renováveis do mundo. Essa política alicerça as bases para o crescimento do consumo e produção mais sustentável dos biocombustíveis, além de estabelecer, a partir da substituição da gasolina pelo etanol, o Crédito de Descarbonização (CBio), instrumento que oferece oportunidade de compensação de emissões para setores da economia com maior custo de mitigação. Entre 2020 e 2023, o RenovaBio evitou a emissão de mais de 100 milhões de toneladas de CO₂.

Com o RenovaBio, o Brasil se tornou o único país do mundo com mais de 90% da sua produção de biocombustíveis com emissão de carbono auditada e lastrada. Produção que vem se mostrando ainda mais sustentável. Para se ter ideia, as usinas apresentaram redução média de 3,5% nas emissões de CO₂eq no processo de recertificação.



Combustível do Futuro: em 2024, o Congresso Nacional aprovou a lei do Combustível do Futuro. O programa visa ampliar o uso de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono, a partir das bem-sucedidas experiências brasileiras com etanol, biodiesel e o programa RenovaBio. A iniciativa incorpora a avaliação de ciclo de vida (ACV/LCA) como critério de sustentabilidade. O projeto é inovador ao considerar o princípio de neutralidade ou diversidade tecnológica, reconhecendo todas as rotas que contribuem para a redução de emissões de CO₂eq.

Pelo conceito adotado no programa, a avaliação dos combustíveis irá contabilizar todas as emissões de GEE, desde o processo de cultivo e extração de recursos, produção dos combustíveis líquidos ou gasosos ou da energia elétrica, até sua distribuição e utilização em veículos leves e pesados de passageiros e comerciais.

Mover: o programa Mobilidade Verde e Inovação (Mover) faz parte do arcabouço legal para que a indústria tenha segurança jurídica para os investimentos em inovação e tecnologia com menores pegadas de carbono. Para isso, prevê incentivos financeiros para a pesquisa e a produção de veículos menos poluentes. Em linha com o Combustível do Futuro, estabelece a metodologia de avaliação do ciclo de vida.

Tecnologias – novos energéticos

A Agência Internacional de Energia (IEA) estima que o mundo precisará triplicar a oferta de biocombustíveis até 2030 para chegar ao net zero no setor de transportes. Na prática, a produção global teria que crescer, em média, 17% ao ano ao longo dos próximos anos.

Dentre as rotas para a descarbonização da matriz energética, a contribuição do setor sucroenergético tem crescido e diversificado a oferta de renováveis.

Biogás e biometano

Além do etanol e da bioeletricidade, desponta no setor a produção de biogás, que por sua vez é fonte para o biometano, combustível equivalente ao gás natural, mas com uma pegada de carbono bastante inferior.

No setor sucroenergético, o biogás segue uma rota diferente da bioeletricidade. Ambos usam como insumos os resíduos do processamento, mas enquanto a bioeletricidade é gerada a partir do bagaço da cana, o biogás é produzido a partir da palha, da vinhaça e da torta de filtro. Cada litro de etanol gera cerca de 12 litros de vinhaça. A partir da biodigestão da vinhaça obtém-se o biogás.

O setor é o que apresenta maior potencial na geração de biogás e biometano. São 86 bilhões de metros cúbicos por ano. Biometano que atua também como substituto do *diesel*, reduzindo as emissões de CO₂ em até 95% se comparado aos combustíveis fósseis. Esse volume é suficiente para substituir 70% do consumo de *diesel* no Brasil.

Combustível Sustentável de Aviação (SAF)

O setor aéreo é responsável por 12% das emissões globais de transporte, representando aproximadamente 3% do total das emissões de gases de efeito estufa no planeta.

De acordo com Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA), o Combustível Sustentável de Aviação (SAF) pode contribuir com cerca de 65% da redução de emissões necessária para o transporte aéreo atingir a neutralidade de CO₂ em 2050 – o que exigirá um aumento maciço na produção de SAF.

Atualmente, 11 rotas de produção de biocombustíveis são certificadas para produzir SAF. Uma das rotas mais promissoras é a *Alcohol to Jet* (ATJ), que usa o etanol como base. Essa rota foi identificada por especialistas como a solução mais viável em curto prazo para cumprir a meta de neutralidade de carbono.



Transporte marítimo

O desafio de zerar as emissões em torno de 2050 também está no horizonte estratégico da indústria de navegação, meta adotada no âmbito da Organização Marítima Internacional (IMO), a agência das Nações Unidas responsável pela regulamentação do transporte marítimo. Com a Estratégia de Gases de Efeito Estufa, a IMO visa reduzir as emissões de carbono do transporte marítimo internacional em 40% até 2030 e 72% até 2040 em relação aos níveis de 2008, chegando ao ano 2050 próximo de zero.

No critério de avaliação de o quanto o combustível é sustentável, as diretrizes da IMO consideram a avaliação do ciclo de vida do combustível, tal como já comentamos ao tratarmos das políticas brasileiras para biocombustíveis. Isso significa que não apenas as emissões geradas pela queima no motor do navio são importantes, mas também as emissões da extração, produção, transporte e armazenamento, chamada "*well-to-wake*".

Nesse contexto, o etanol tem enormes potencialidades para ser uma alternativa significativa no transporte de navegação. Atualmente, há projetos em desenvolvimento para adotar tecnologias que operem com diferentes combustíveis, inclusive com o biocombustível produzido no Brasil a partir da cana-de-açúcar e do milho.

Etanol brasileiro em linha com diretrizes internacionais

O etanol brasileiro atende a todas as diretrizes de sustentabilidade estabelecidas em âmbito internacional. Além da proibição de transformar terras florestais em terras agrícolas, conforme diretrizes da política RenovaBio, no país tampouco faz sentido o *trade-off* econômico "*food versus fuel*".

Na lavoura da cana, adota-se o modelo de rotação de cultura técnica de manejo e conservação do solo. Ao final de cada ciclo de plantio, a cana é substituída por um ciclo de amendoim ou soja. Além de ajudar na fixação de nitrogênio no solo, esse modelo transformou o estado de São Paulo no maior produtor de amendoim do Brasil, com mais de 770 mil toneladas/ano. Já a produção de etanol de milho vem de segunda safra, fomentando o cultivo em sucessão com a soja e, consequentemente, não exigindo a abertura de novas áreas para plantio. E essa indústria ainda produz DDG, um insumo para nutrição animal.

A expansão de áreas agrícolas ocorre, principalmente, por meio da recuperação de áreas de pastagens degradadas e por investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Atualmente, o setor sucroenergético possui potencial para fornecimento de energia renovável e sustentável, em nível escalonável. Cada um litro de etanol gera, aproximadamente, 12 litros de vinhaça, um subproduto que, por sua vez, pode ser usado na fabricação de biogás, é fonte de energia elétrica limpa, 100% renovável, além de ser uma alternativa aos combustíveis fósseis, por meio da geração do biometano.

Próximos passos

A expectativa é ampliar cada vez mais a participação dos biocombustíveis na transição para baixo carbono, especialmente em cooperação técnica com os países do Sul Global, a partir de uma agenda fortalecida pela *Global Biofuels Alliance* (GBA), lançada pela Índia, Brasil e Estados Unidos no âmbito do G20 em 2023.





A União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (UNICA) é a entidade representativa das principais unidades produtoras de açúcar, etanol (álcool combustível), bioeletricidade e de bioenergia da região Centro-Sul do Brasil, principalmente do Estado de São Paulo.

Sua criação, em 1997, foi resultado da fusão de diversas organizações setoriais do estado de São Paulo, com a desregulamentação do setor no País. A associação se expressa e atua em sintonia com os interesses dos produtores de bioenergia tanto no Brasil como ao redor do mundo.

A UNICA é gerida por um Conselho Deliberativo, integrado por representantes de suas associadas e uma equipe de experientes executivos, especialistas e consultores técnicos, dedicados em tempo integral. O domínio técnico da UNICA compreende as áreas de meio ambiente, energia, tecnologia, comércio exterior, responsabilidade social corporativa, sustentabilidade, legislação, economia e comunicação.

No final de 2007, a UNICA abriu o primeiro escritório internacional nos Estados Unidos e, em 2008, na Europa, com o objetivo de prover informações qualificadas sobre as importantes contribuições socioeconômicas e ambientais do setor a interlocutores como governos, ONGs, empresas, mídia e consumidores. A partir de 2017, a UNICA aumentou seu escopo geográfico com a ampliação da atuação no continente asiático, principalmente a Índia e Japão.

The background is a solid light green color. It features two large, thick, dark green curved shapes. One shape is in the top right corner, curving downwards and to the left. The other is in the bottom left corner, curving upwards and to the right. These shapes appear to be parts of larger circles or arcs.

Eletromobilidade

Brasil pode ser um exemplo ao mundo

As mudanças climáticas impõem desafios crescentes aos gestores públicos e ao setor empresarial. Ano após ano, os impactos das transformações climáticas tornam-se mais evidentes, com ondas de calor mais intensas, enchentes frequentes, invernos mais curtos e quentes, secas prolongadas e ocorrência de ciclones extratropicais. Segundo relatório do observatório europeu Copernicus, agosto de 2024 registrou a maior temperatura média já observada para o mês, atingindo 1,5°C acima dos níveis pré-industriais.

Neste contexto, é acertada e pertinente a reflexão proposta pela Câmara Oficial Espanhola de Comércio no Brasil neste e-book dedicado à transição energética. As mudanças climáticas deixaram de ser uma hipótese futura tornando-se uma desafiadora realidade que exige urgência, coordenação e inteligência estratégica em seu enfrentamento.

Nas últimas décadas, as cidades e metrópoles brasileiras passaram por um acentuado processo de adensamento populacional. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população saltou de pouco mais de 50 milhões de habitantes na década de 1950 – sendo 64% vivendo no meio rural – para 213 milhões em 2025, 85% vivendo nas cidades. Trata-se do país que mais rapidamente redefiniu seu perfil demográfico, o que resultou em grandes desafios para a implantação das infraestruturas urbanas necessárias.

Viabilidade de veículos elétricos

No campo da infraestrutura de mobilidade urbana, para torná-la eficiente e suficiente, estes desafios não foram, e não são, menores. A oferta de alternativas de transporte, em seus múltiplos modais, cresceu aquém do incremento da demanda nestas cidades. As vias, para fluidez do tráfego rodoviário, tampouco acompanharam o aumento do número de veículos, que triplicou nos últimos 20 anos, passando de 39 milhões em 2004 para 124 milhões em 2024, segundo a Secretaria Nacional de Trânsito (Senatran).

A mobilidade, ou imobilidade, urbana é motivo de preocupação no dia a dia de todos. São Paulo, por exemplo, ultrapassou a média diária de 500 km de congestionamentos em dias úteis (conforme a CET, média dos primeiros 15 dias úteis de dezembro de

2025), o que confirma o colapso de nossa infraestrutura e o esgotamento do modelo baseado em transporte individual motorizado. A consequência é a perda de qualidade de vida dos cidadãos, redução da produtividade econômica e o agravamento da degradação da qualidade do ar.

O cenário poderia ser diferente caso a cidade tivesse optado pela priorização dos transportes públicos, ao individual, pela diversificação e integração dos modais de transportes, bem como a prevalência na adoção de tecnologias limpas, como metrô, trens metropolitanos, VLTs e ônibus elétricos. Neste contexto, a Eletromobilidade se apresenta como uma excelente opção e está no centro das discussões sobre o futuro sustentável dos transportes. A Eletromobilidade representa uma ruptura com modelos tradicionais de mobilidade, permitindo-nos migrar a outro patamar em termos de transportes, consumo de energia e sustentabilidade.

O Brasil dispõe da matriz elétrica mais limpa entre os países que compõem o G20, ou a terceira mais limpa do mundo, com 88,2% de nossa energia elétrica gerada por fontes renováveis: hidrelétricas (56%), eólicas (13,9%), solar (10,1%) e biomassa (8,2%), segundo dados atualizados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Possuímos, assim, bases sólidas e paradigmáticas ao desenvolvimento da Eletromobilidade.

Houve, nos últimos anos, um crescimento exponencial na adoção de veículos elétricos em todo o mundo. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), o número global de carros elétricos atingiu a marca de 10 milhões de unidades em 2021, com a China e a Europa liderando essa transformação. A União Europeia estabeleceu metas para alcançar zero emissões líquidas de carbono até 2050, e os veículos elétricos são peça chave deste desafio. A Noruega está perto de banir a venda de veículos a combustão.

No Brasil, embora menos avançado, o crescimento também é acelerado. Dados da Senatran, compilados pela ABVE, indicam que a frota de elétricos e híbridos *plug-in* ultrapassou 480 mil unidades em meados de 2025, um crescimento de 28% em apenas 6 meses, ou mais de 10 vezes nos últimos 5 anos. Ainda assim, representam menos de 1% da frota operacional nacional de 126 milhões de veículos, o que indica um grande potencial de crescimento.

São modelos alimentados por baterias recarregáveis ou diretamente conectados à rede e se subdividem em três tipos: os 100% elétricos a bateria (BEV), os híbridos convencionais (HEV) e os híbridos *plug-in* (PHEV).

Infraestrutura de recarga

Apesar de abrir um enorme leque de oportunidades, o tema traz consigo também questões relacionadas à necessária infraestrutura de carregamento, ao tempo de recarga, aos custos das baterias, suas autonomias e, sobretudo, ao grande desafio ambiental relacionado à produção e principalmente ao descarte e reciclagem das baterias usadas.

As baterias de íon-lítio revolucionaram os veículos elétricos, proporcionando maior densidade energética, menor tempo de recarga e maior longevidade. A autonomia média dos veículos elétricos ultrapassa os 400 km/carga, com modelos mais avançados que podem chegar a mais de 800 km. Estão em fase final de pesquisas e testes as baterias de estado sólido (que substitui o eletrólito líquido das baterias tradicionais por um material sólido altamente condutor) que oferecerão uma autonomia de até 1.500 km e carregamento em apenas oito minutos.



No campo da infraestrutura, os avanços recentes são igualmente expressivos. O Brasil alcançou 16.900 pontos públicos e semipúblicos em 2025, crescimento superior a 60% em 6 meses, embora ainda muito distante dos mais de 1,2 milhões de pontos da Europa.

Diferentes soluções estão em testes para facilitar a recarga dos veículos, como o carregamento ultrarrápido, que pode carregar até 80% da bateria em menos de 30 minutos, e o carregamento bidirecional (V2G), onde os veículos podem armazenar e fornecer energia à rede elétrica, funcionando como baterias móveis. Este conceito fortalece o princípio das redes inteligentes (*smart grids*) no balanceamento da oferta e demanda de eletricidade e poderá ser um divisor de águas, especialmente em cenários onde as fontes de energia renováveis são intermitentes.

Segundo um estudo da *Transport & Environment*, os veículos elétricos emitem, em média, três vezes menos CO₂ ao longo de sua vida útil do que os veículos a combustão. Ainda assim, a mineração do lítio e a reciclagem desses componentes exigem regulamentação, inovação e investimentos para mitigar os substantivos impactos ambientais.

Políticas públicas

Nos próximos anos, os veículos autônomos serão outra realidade em nosso dia a dia como uma consequência natural deste processo evolutivo. Os trens de passageiros, há muito majoritariamente eletrificados, já utilizam largamente deste dispositivo de condução autônoma (*driver less*), embora circulem por vias dedicadas e por isso, com um menor número de interferências. Trata-se de um mundo novo, que traz consigo grandes responsabilidades e infinitas oportunidades de negócio.

Tudo isso indica que o planejamento urbano precisará contemplar a eletromobilidade em suas ações, tanto em seu aspecto de infraestrutura de vias, de rede elétrica interligada e maior oferta de pontos de carga, assim como para o estabelecimento de metas e objetivos para se alcançar um meio urbano mais sustentável.

Uma das ideias que se defende é criar anéis de sustentabilidade, a partir do centro das grandes cidades, com raios de alcance de ruas e avenidas, dentro dos quais poderiam circular apenas veículos de transporte público movidos a energias renováveis. Este perímetro seria expansível, com o tempo, até que toda a frota de transporte público da

cidade operasse apenas com fontes renováveis. São Paulo persegue a meta de substituir toda sua frota de ônibus a *diesel* por alternativas limpas até 2037.

Será cada vez mais essencial a criação de políticas públicas destinadas a alavancar este processo transitório. Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), os investimentos das montadoras em veículos elétricos e híbridos já somam R\$ 117 bilhões. Programas do Governo Federal como o Mobilidade Verde e Inovação (Mover), segundo ciclo do Rota 2030, visam reduzir em 50% as emissões de carbono no Brasil até 2050. Estes programas estão focados na descarbonização da frota rodoviária, investimentos em tecnologias destinadas às melhorias ambientais e prometem ampliar a infraestrutura de recarga, principalmente nas rodovias federais, concedendo créditos tributários de R\$ 19,3 bilhões, até 2028. Igualmente relevante seria maior atenção do Governo Federal à geração de programas que incentivem ainda mais a implantação de projetos urbanos e interurbanos de trens de passageiros. O setor ferroviário é estratégico para o Brasil.

A eletromobilidade, com suas metas e resultados na melhoria da mobilidade e redução da emissão de poluentes, não se restringe ao modal rodoviário. Na esteira do uso de energias renováveis, urge mais investimentos em transportes públicos de passageiros sobre trilhos, comprovadamente mais eficientes e sustentáveis. Corredores de ônibus já saturados da cidade de São Paulo, por exemplo, poderiam ser substituídos por linhas de VLTs. Os exemplos nacionais e globais nos ensinam que o VLT não apenas é mais uma opção ao transporte público, como também um fator transformador urbano, aportando maior segurança, eficiência, modernização de seu entorno, com arquitetura mais amigável, mais sustentável que os modais rodoviários, além de garantirem menos acidentes, melhor qualidade de vida e menor tempo de viagem, em razão da priorização semafórica, entre outras tantas vantagens deste modal.

O Estado de São Paulo lançou, recentemente, o Programa SP nos Trilhos que objetiva implantar 1 mil km de trilhos, com investimentos de R\$ 190 bilhões, contemplando linhas de VLTs, trens suburbanos, novas linhas de metrô e várias linhas de trens regionais de passageiros, em verdadeira revolução do setor e da mobilidade. Mais trens implica em uma substantiva melhora na mobilidade, na eficiência energética, no sistema de transportes, e melhor sustentabilidade.

Tecnologias e inovações

A área ferroviária de passageiros também está concentrada no desenvolvimento tecnológico com vistas a otimização do uso das energias renováveis. É o caso, por exemplo, de trens a hidrogênio, para trechos sem catenária. Já testados e homologados embora emergjam desafios importantes, como o elevado custo de fabricação das células, o custo de produção de hidrogênio verde (poucos países têm sua matriz elétrica em condições, entre eles o Brasil) e a incipiente infraestrutura para abastecimento. Nas baterias, assim como nos veículos rodoviários, a evolução das novas tecnologias como a de Lítio e Óxido de Titânio (LTO), possibilitou alcançar uma autonomia de 140Km e vida útil das baterias de 15 anos. As baterias, ainda em fase de testes, de Lítio e Fosfato de Ferro (LFP) podem levar os trens a uma autonomia de mais de 200 Km. Se estima, para o final da década, a conclusão dos testes das baterias de estado sólido, que poderão permitir uma autonomia de até 400 Km.

As cidades inteligentes do futuro contarão com vasta rede metroferroviária, integrada às frotas de veículos elétricos e autônomos que operarão de forma mais eficiente e sustentável, promovendo um futuro em que a mobilidade será mais acessível, barata, limpa e segura.

Mobilidade eficiente será sempre a que permita uma multiplicidade de modais, integrados entre si, hierarquizados segundo suas capacidades de transporte e que privilegie o transporte público ao privado. País desenvolvido é aquele que transporta todas as classes sociais e econômicas no seu transporte público. País sustentável é aquele que, entre outros, apresenta uma oferta de energias majoritariamente renováveis e aplicadas, inclusive, à mobilidade urbana. O Brasil pode combinar estes fatores e se tornar, assim, um modelo a ser seguido.





Grupo CAF, com mais de 100 anos de experiência, força de trabalho superior a 15.000 colaboradores, está presente em mais de 60 países. Dispomos de instalações de produção na Espanha, França, Reino Unido e Polônia, na Europa, bem como nos Estados Unidos, México e Brasil. Além disso, dispomos de vários centros de manutenção, nos cinco continentes.

CAF é líder global em sistemas de transporte integrados e estamos preparados para liderar o futuro da mobilidade sustentável. Cada vez mais cidades, em todo o mundo, nos escolhem como parceiro estratégico para enfrentar os desafios da mobilidade e da descarbonização dos transportes.

Somos líderes internacionais na concepção e fornecimento de sistemas de transporte integrados e uma referência no setor da mobilidade sustentável.

Nossa gama de produtos e serviços inclui: trens, ônibus, componentes, sistemas de sinalização, serviços e soluções integradas de mobilidade “chave na mão”.

CAF está presente no Brasil desde 1998 e com instalações fabris, em Hortolândia-SP, desde 2010. Uma das líderes do setor metroferroviário brasileiro, já fabricou 1.282 carros de passageiros, ou 183 trens, que estão em operação em São Paulo (CPTM e Metrô), Minas Gerais (Metrô BH), Pernambuco (Metrô Recife) e Rio Grande do Sul (Trensurb). Somos líderes, localmente, também na área de serviços: de garantia (de suas frotas), de manutenção de trens (diversos fabricantes), de revisões gerais e reabilitação de trens para metrês, suburbanos, regionais e VLTs. Dispomos, ainda, de uma PPP Administrativa com o Estado de São Paulo, na qual fabricamos e manteremos, por 20 anos, os 36 trens da frota S/8000 que atualmente opera na Linha 11 da CPTM.

The background is a solid light green color. It features two large, thick, dark green curved shapes. One shape is in the top right corner, curving downwards and to the left. The other is in the bottom left corner, curving upwards and to the right. These shapes create a sense of movement and frame the central text.

Energia renovável: fundamentos, importância e caminhos para o futuro

A energia é um elemento essencial para o desenvolvimento das sociedades modernas. Ela sustenta atividades produtivas, viabiliza serviços básicos, impulsiona a inovação tecnológica e está diretamente relacionada à qualidade de vida das pessoas. No entanto, a forma como essa energia é produzida e consumida tem se mostrado um dos principais desafios do século 21, especialmente diante das mudanças climáticas, da degradação ambiental e das desigualdades no acesso à eletricidade. É nesse contexto que as energias renováveis assumem um papel central na construção de um futuro mais sustentável.

De forma simples, energia renovável é aquela gerada a partir de fontes naturais que se regeneram continuamente em uma escala de tempo humana, como o sol, o vento, a água, a biomassa, o calor interno da Terra e a energia dos mares. Diferentemente dos combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, essas fontes não dependem de reservas finitas formadas ao longo de milhões de anos e apresentam impactos ambientais significativamente menores. Por essa razão, as energias renováveis também são conhecidas como energias limpas ou alternativas.

Além de sua característica de renovação natural, um dos principais atributos das energias renováveis é a contribuição direta para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Ao substituir fontes fósseis na geração de eletricidade, no aquecimento, nos transportes e em processos industriais, elas ajudam a mitigar o aquecimento global e a enfrentar as mudanças climáticas. Este benefício ambiental se conecta diretamente à proteção da saúde humana, à preservação dos ecossistemas e à qualidade do ar, da água e do solo.

Do ponto de vista econômico, as energias renováveis vêm se consolidando como uma opção cada vez mais competitiva. O avanço tecnológico contínuo tem tornado as instalações mais eficientes, reduzido custos de produção e ampliado a viabilidade dessas fontes em diferentes escalas, do uso residencial às grandes plantas industriais. Em muitos países, produzir eletricidade a partir de fontes renováveis já é mais barato do que recorrer às fontes convencionais, tendência que deve se intensificar nas próximas décadas.

Outro aspecto relevante é a versatilidade das energias renováveis. Como dependem de recursos amplamente distribuídos na natureza, elas podem ser implementadas em praticamente todas as regiões do planeta, respeitando as características locais. Essa flexibilidade favorece a descentralização da geração de energia, permitindo que comunidades, empresas e até residências produzam sua própria eletricidade, reduzindo a dependência de grandes centrais e aumentando a segurança energética.

As energias renováveis também desempenham um papel estratégico no desenvolvimento social. Em países e regiões onde o acesso à eletricidade ainda é limitado, especialmente em áreas rurais ou isoladas, elas frequentemente representam a solução mais viável para levar energia de forma estável e segura. Dessa maneira, contribuem para reduzir desigualdades, estimular atividades econômicas locais e ampliar oportunidades de educação, saúde e renda.

Por fim, a transição para fontes renováveis está profundamente ligada à geração de empregos e à chamada economia verde. A expansão desse setor demanda profissionais qualificados em diversas áreas, desde pesquisa e desenvolvimento até operação, manutenção e gestão de projetos, fortalecendo cadeias produtivas e promovendo inovação.

Esta introdução abre caminho para aprofundar o conhecimento sobre as diferentes formas de energia renovável. Nos próximos textos, cada fonte será apresentada em detalhes, explorando suas características, aplicações, desafios e potencial de contribuição para um sistema energético mais limpo, resiliente e alinhado às necessidades do planeta e das futuras gerações.





Fundada em 1955, a Câmara Oficial Espanhola de Comércio no Brasil é uma associação empresarial dedicada a fomentar e fortalecer as relações econômicas, comerciais e institucionais entre Brasil e Espanha. Ao longo de sete décadas, a Câmara consolidou-se como um espaço estratégico de conexão entre empresas, governos e demais atores-chave, acompanhando as transformações do cenário empresarial bilateral e contribuindo ativamente para o desenvolvimento de um ambiente de negócios dinâmico, diverso e sustentável.

Com uma base de associados formada por empresas de múltiplos setores, portes e nacionalidades — que inclui desde pequenas e médias empresas até grandes grupos multinacionais — a Câmara atua como uma plataforma de articulação, networking qualificado e geração de oportunidades. Sua atuação vai além da promoção do intercâmbio comercial entre Brasil e Espanha, abrangendo também o apoio ao posicionamento de empresas no mercado brasileiro, a conexão entre importadores, investidores e parceiros comerciais, além do incentivo a iniciativas de inovação e desenvolvimento sustentável.

A Câmara desenvolve e compartilha informações estratégicas por meio de comitês setoriais, eventos técnicos, fóruns de debate e missões empresariais, promovendo o diálogo entre especialistas e a troca de boas práticas. Essa atuação é sustentada por três pilares fundamentais: o institucional, como ponte de apoio às empresas espanholas e ibero-europeias no Brasil; o networking, que conecta pessoas e organizações em um ambiente de confiança; e o suporte técnico e de conteúdo, que estimula a produção e a disseminação de conhecimento qualificado sobre temas relevantes para o ambiente de negócios.

The background is a solid light green color. It features two large, thick, dark green curved shapes. One shape is in the top right corner, curving from the top edge towards the center. The other shape is in the bottom left corner, curving from the bottom edge towards the center. These shapes create a sense of movement and depth.

Energia solar: a base da transição energética

A energia solar pode ser compreendida como a grande “energia-mãe” da Terra. É a partir da radiação emitida pelo sol que se originam inúmeros processos naturais fundamentais para a vida no planeta, como a fotossíntese, os ciclos climáticos, a formação dos ventos e até mesmo, indiretamente, os combustíveis fósseis. Em termos energéticos, o sol é o motor primário de quase todas as formas de energia disponíveis na Terra, o que explica seu papel central na atual transição para sistemas energéticos mais limpos, seguros e sustentáveis.

Durante séculos, a humanidade explorou essa relação entre o sol e a natureza principalmente para fins agrícolas, observando os ciclos solares para orientar o cultivo de alimentos. Com o avanço científico e tecnológico, especialmente a partir do final do século 19, foi possível transformar diretamente a radiação solar em eletricidade, por meio da invenção da célula fotovoltaica. Esse dispositivo explora o chamado efeito fotovoltaico, fenômeno físico no qual determinados materiais semicondutores, como o silício, geram corrente elétrica quando expostos à luz solar.

Quase 150 anos após a criação da primeira célula solar, a energia solar fotovoltaica se consolidou como a fonte renovável que mais cresce no mundo. Impulsionada pela inovação tecnológica, pela redução de custos e pela necessidade global de descarbonização, ela ocupa hoje posição estratégica nos planos energéticos de diversos países, com papel decisivo na mitigação das mudanças climáticas e na democratização do acesso à eletricidade.



Como funciona a energia solar fotovoltaica

A geração de energia solar fotovoltaica ocorre a partir da captação da luz do sol por meio de painéis solares, compostos por células feitas de materiais semicondutores. Quando a radiação solar incide sobre essas células, os elétrons do material são agitados e passam a se mover, gerando corrente elétrica contínua. Esse processo acontece de forma silenciosa, sem emissão de poluentes ou resíduos durante a operação.

Os painéis solares são instalados sobre estruturas de suporte que garantem a inclinação e a orientação adequadas, de modo a maximizar a exposição à radiação solar ao longo do dia. Toda a eletricidade gerada pelos módulos é encaminhada a um equipamento chamado inversor, responsável por converter a corrente contínua em corrente alternada, padrão utilizado nas residências, comércios, indústrias e redes elétricas.

Uma vez convertida, a energia pode ser consumida imediatamente no local de geração, armazenada em baterias ou transferida para a rede elétrica, permitindo o compartilhamento do excedente e a compensação de créditos energéticos. Além do modelo fotovoltaico, a energia solar também pode ser explorada por meio de usinas solares termodinâmicas, que utilizam espelhos para concentrar os raios solares, gerar calor, produzir vapor e acionar turbinas, em um processo semelhante ao das usinas termelétricas convencionais.

Principais vantagens da energia solar

Entre todas as fontes renováveis, a energia solar se destaca por um conjunto amplo de vantagens ambientais, econômicas e sociais. A primeira delas é seu caráter renovável e praticamente inesgotável. Embora o sol não seja eterno, sua vida útil estimada em bilhões de anos torna a energia solar uma fonte estável e confiável em qualquer horizonte de planejamento humano.

Outro diferencial importante é a ampla disponibilidade geográfica. A radiação solar atinge todos os pontos do planeta, ainda que com intensidades distintas, o que permite o aproveitamento da energia solar tanto em áreas urbanas quanto em regiões rurais, remotas ou de difícil acesso. Essa característica favorece a descentralização da geração de energia e amplia a autonomia de consumidores, comunidades e empresas.

Do ponto de vista ambiental, a energia solar apresenta impacto extremamente reduzido durante sua operação. Sistemas fotovoltaicos não emitem gases de efeito estufa, não geram poluição sonora e não consomem água para a produção de eletricidade. Além disso, os painéis possuem vida útil longa, em geral entre 20 e 25 anos, exigem baixa manutenção e podem ser reciclados ao final do seu ciclo, reforçando seu alinhamento com os princípios da economia circular.

A escalabilidade também é uma vantagem central. A energia solar pode atender desde pequenas demandas residenciais até grandes necessidades industriais e nacionais, por meio de usinas de grande porte. Essa flexibilidade permite adaptar os projetos às características locais e às necessidades energéticas específicas de cada região.

Mercado e marcos legais da energia solar no Brasil

No Brasil, a energia solar ganhou impulso a partir de 2012, com a publicação da Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, que criou o sistema de compensação de energia elétrica e estabeleceu as bases da geração distribuída. Esse marco regulatório permitiu que consumidores passassem a gerar sua própria energia e a injetar o excedente na rede, recebendo créditos que reduzem significativamente o valor da conta de luz.

A evolução regulatória continuou com a Resolução Normativa nº 687, em 2015, que ampliou as modalidades de geração distribuída, incluindo o autoconsumo remoto, a geração compartilhada e as múltiplas unidades consumidoras. Em 2022, a Lei nº 14.300 instituiu o Marco Legal da Geração Distribuída, trazendo maior segurança jurídica ao setor e definindo novas regras para a compensação de créditos energéticos.

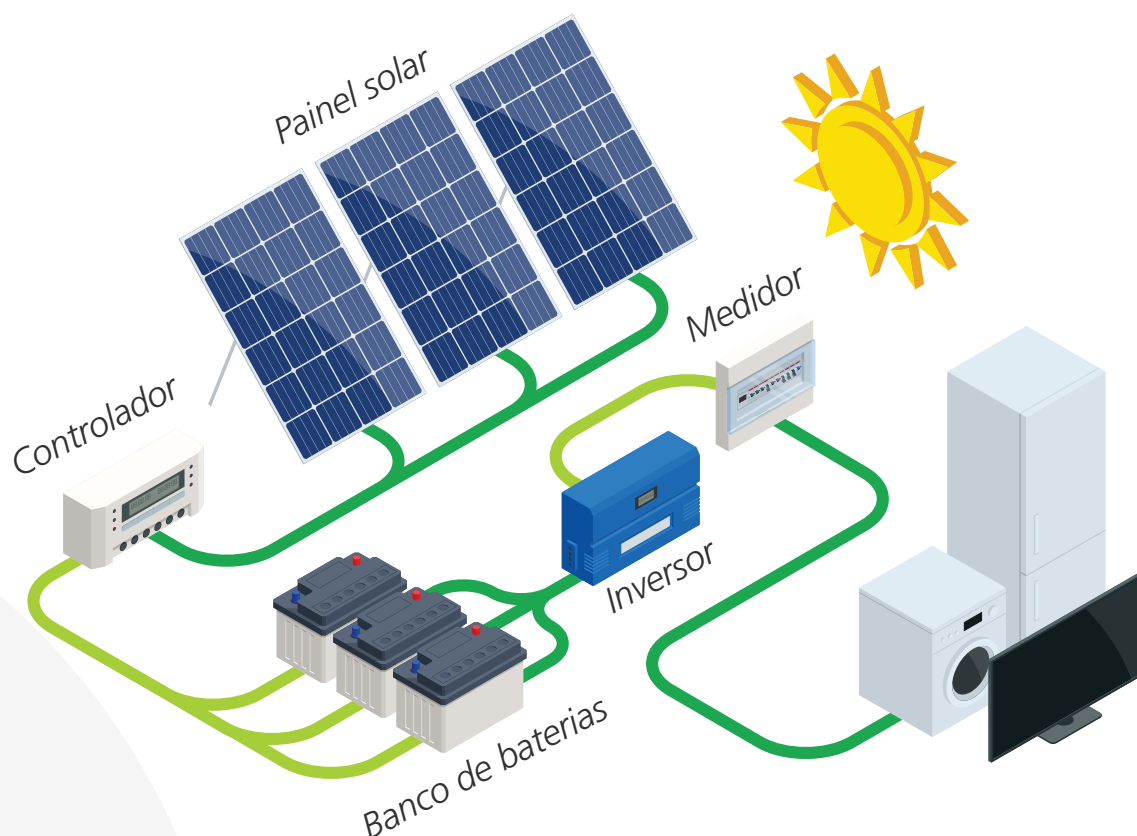
Como resultado desse ambiente regulatório favorável, o mercado solar brasileiro apresentou crescimento acelerado. Com quase 60 GW de capacidade instalada, a fonte solar já responde por mais de 20% da matriz elétrica nacional, posicionada como a segunda maior fonte do país. Esse total é composto por grandes usinas centralizadas e por milhões de sistemas de geração distribuída instalados em residências, comércios e propriedades rurais.

Inovação, eficiência e perspectivas futuras

A energia solar é uma tecnologia sólida, confiável e em constante evolução. A eficiência média dos painéis comerciais gira em torno de 20%, mas avanços recentes, como células de heterojunção e multijunção, já superaram esse patamar, com registros acima de 40% em ambientes controlados. Paralelamente, os custos de produção vêm caindo de forma consistente, tornando a tecnologia cada vez mais acessível.

O futuro da energia solar está diretamente ligado à integração com sistemas de armazenamento, redes inteligentes e novas aplicações, como a eletrificação dos transportes e a produção de hidrogênio verde. No Brasil, a combinação entre elevada irradiação solar, amplo território e demanda crescente por eletricidade cria condições únicas para que o país assuma protagonismo global na transição energética.

A energia solar se consolida como um dos pilares centrais do sistema energético do século 21. Sua capacidade de gerar valor econômico, promover inclusão social e reduzir impactos ambientais faz dela uma aliada indispensável na construção de um futuro energético mais limpo, resiliente e sustentável.





Fundada em 1955, a Câmara Oficial Espanhola de Comércio no Brasil é uma associação empresarial dedicada a fomentar e fortalecer as relações econômicas, comerciais e institucionais entre Brasil e Espanha. Ao longo de sete décadas, a Câmara consolidou-se como um espaço estratégico de conexão entre empresas, governos e demais atores-chave, acompanhando as transformações do cenário empresarial bilateral e contribuindo ativamente para o desenvolvimento de um ambiente de negócios dinâmico, diverso e sustentável.

Com uma base de associados formada por empresas de múltiplos setores, portes e nacionalidades — que inclui desde pequenas e médias empresas até grandes grupos multinacionais — a Câmara atua como uma plataforma de articulação, networking qualificado e geração de oportunidades. Sua atuação vai além da promoção do intercâmbio comercial entre Brasil e Espanha, abrangendo também o apoio ao posicionamento de empresas no mercado brasileiro, a conexão entre importadores, investidores e parceiros comerciais, além do incentivo a iniciativas de inovação e desenvolvimento sustentável.

A Câmara desenvolve e compartilha informações estratégicas por meio de comitês setoriais, eventos técnicos, fóruns de debate e missões empresariais, promovendo o diálogo entre especialistas e a troca de boas práticas. Essa atuação é sustentada por três pilares fundamentais: o institucional, como ponte de apoio às empresas espanholas e ibero-europeias no Brasil; o networking, que conecta pessoas e organizações em um ambiente de confiança; e o suporte técnico e de conteúdo, que estimula a produção e a disseminação de conhecimento qualificado sobre temas relevantes para o ambiente de negócios.

The background is a solid light green color. It features two large, thick, dark green curved shapes that resemble stylized wind turbine blades or parts of a circular design. One curve starts from the top right and arcs towards the center, while the other starts from the bottom left and arcs towards the center.

Energia eólica: potencial e inovações

Historicamente, a humanidade dependia fortemente dos combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, para suprir suas necessidades energéticas. Embora essas fontes tenham impulsionado o desenvolvimento industrial e econômico, elas também trouxeram consequências ambientais significativas, como a emissão de gases de efeito estufa e a poluição do ar. Em busca de alternativas mais sustentáveis, a energia eólica emergiu como uma solução promissora.

Potencial da energia eólica

A energia eólica possui um enorme potencial de crescimento, especialmente em países com vastas áreas costeiras e ventos constantes, como o Brasil. Atualmente, a energia eólica representa uma parcela significativa da matriz energética de muitos países, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a diversificação das fontes de energia.

No Brasil, a energia eólica tem se mostrado uma solução viável e econômica. Com um potencial estimado de 500 *gigawatts* (GW), o país tem investido fortemente na expansão de parques eólicos, especialmente no Nordeste, onde as condições são ideais para a geração de energia a partir dos ventos. Até 2024, o Brasil alcançou uma capacidade instalada de aproximadamente 31 GW, com mais de mil parques eólicos em operação e milhares de aerogeradores funcionando. Além disso, há uma previsão de aumento significativo na capacidade instalada nos próximos anos, com diversos projetos em desenvolvimento estimados em cerca de 5,2 GW adicionais.

Em termos globais, alguns dos líderes em energia eólica incluem:

- **China:** é o maior mercado mundial para energia eólica, com uma capacidade instalada de cerca de 370 GW em 2024. O país tem planos de expandir ainda mais, com previsões de atingir 500 GW até 2030, apoiada por investimentos robustos em tecnologia e infraestrutura.
- **Estados Unidos:** são um dos maiores produtores de energia eólica, com uma capacidade instalada de aproximadamente 140 GW até 2024. As projeções indicam que o país pode alcançar 220 GW até 2030, com a expansão contínua de projetos eólicos terrestres e *offshore*.

- **Alemanha:** pioneira na energia eólica na Europa, tinha uma capacidade instalada de cerca de 65 GW até 2023. O país planeja expandir sua capacidade para cerca de 100 GW até 2030, com foco em energia eólica *offshore* e em novas tecnologias de turbinas.
- **Dinamarca:** é conhecida por sua liderança em energia eólica, com uma capacidade instalada de aproximadamente 10 GW até 2024. A nação está comprometida em aumentar sua capacidade para cerca de 20 GW até 2030, investindo fortemente em tecnologia *offshore* e em projetos de integração com outras fontes renováveis.

Esses dados ilustram o crescimento global e as ambições para a expansão da energia eólica, destacando o papel crucial que esses países desempenham na transição para uma matriz energética mais sustentável.

Inovações tecnológicas

As inovações tecnológicas têm desempenhado um papel crucial na evolução da energia eólica. Entre as principais tendências, destacam-se:

- **Turbinas sem hélices:** este *design* cilíndrico que vibra com o vento gera energia de forma eficiente e com menor custo de instalação e manutenção. Além disso, essas turbinas são mais silenciosas e têm um impacto ambiental reduzido, sendo menos perturbadoras para a fauna local.
- **Energia eólica *offshore*:** a expansão para ambientes marinhos permite a instalação de turbinas em alto-mar, onde os ventos são mais fortes e constantes. A energia eólica *offshore* tem o potencial de gerar grandes quantidades de eletricidade, aproveitando áreas que não competem com o uso do solo e que possuem ventos mais intensos e regulares. Exemplos notáveis incluem os parques eólicos no Mar do Norte e na costa da China.
- **Aerogeradores de eixo vertical:** estes aerogeradores possuem lâminas dispostas verticalmente, permitindo uma maior flexibilidade na captura do vento, independentemente da direção. Esta característica é particularmente útil em áreas urbanas ou onde os ventos são variáveis.

- **Turbinas eólicas flutuantes:** projetadas para instalação em águas profundas, essas turbinas podem aproveitar ventos mais fortes e constantes que não estão disponíveis em áreas costeiras rasas. Essa tecnologia está começando a ser aplicada em projetos como o *Floating Wind Farm*, na Escócia.

Desafios e futuro

Apesar dos avanços, a energia eólica ainda enfrenta desafios, como a variabilidade dos ventos e a necessidade de grandes áreas para a instalação de parques eólicos. No entanto, as contínuas inovações tecnológicas e os investimentos em pesquisa e desenvolvimento prometem superar essas barreiras.

Além das inovações tecnológicas, as políticas públicas desempenham um papel crucial na promoção e expansão da energia eólica. Políticas favoráveis podem criar um ambiente propício para o desenvolvimento e a adoção de tecnologias eólicas. Algumas das políticas públicas que podem influenciar o futuro da energia eólica incluem:

- **Incentivos e subsídios:** incentivos fiscais, subsídios e tarifas de energia garantidas (*feed-in tariffs*) são ferramentas importantes para tornar os projetos eólicos mais atraentes economicamente. Muitos países implementam essas políticas para reduzir o risco financeiro e estimular o investimento em energia renovável.
- **Regulamentações e normas:** a criação de regulamentações e normas que simplifiquem o processo de licenciamento e a instalação de turbinas eólicas pode acelerar o desenvolvimento de projetos. Regulamentações que garantam a integração eficiente das energias renováveis na rede elétrica também são essenciais.
- **Pesquisas e investimentos públicos:** O apoio governamental à pesquisa e ao desenvolvimento de novas tecnologias eólicas pode acelerar a inovação e a comercialização de soluções avançadas, como turbinas flutuantes e sistemas de armazenamento de energia. Programas de financiamento público para projetos de energia eólica também são cruciais.

- **Planejamento territorial:** políticas de planejamento territorial que considerem a localização ideal para parques eólicos, levando em conta o impacto ambiental e a compatibilidade com outras atividades econômicas, podem minimizar conflitos e otimizar o uso do solo.
- **Educação e capacitação:** investir em programas de educação e capacitação para a força de trabalho em energias renováveis ajuda a criar um mercado de trabalho qualificado e a promover a aceitação e a integração de tecnologias eólicas na sociedade.

Além disso, a cooperação internacional pode desempenhar um papel importante na superação de desafios globais. A colaboração entre países pode promover o compartilhamento de melhores práticas, tecnologias e conhecimentos, acelerando o avanço da energia eólica.

À medida que as políticas públicas evoluem para apoiar a transição energética, a energia eólica está bem posicionada para se tornar uma peça central na construção de um futuro energético mais sustentável, oferecendo uma alternativa limpa e renovável aos combustíveis fósseis.





Fundada em 31 de agosto de 2010, a SIMM se tornou uma empresa brasileira de alcance global. Especializada em soluções integrais nas áreas de construção, montagem, engenharia, manutenção e consultoria de usinas eólicas e fotovoltaicas, tornou-se uma empresa líder no segmento de energias renováveis.

Com atendimento diferenciado e focado sempre nas necessidades dos clientes, a SIMM oferece serviços que conciliam desempenho, qualidade, cumprimento de prazos e a melhor relação custo-benefício.

Atualmente são mais de 1.500 colaboradores diretos, munidos com equipamentos de ponta, prontos para acompanhar seus projetos em todas as etapas, desde o papel até o seu pleno funcionamento.

The background is a solid light green color. It features two large, thick, dark green curved shapes. One shape is in the top right corner, curving from the top edge towards the center. The other shape is in the bottom left corner, curving from the bottom edge towards the center. These shapes create a sense of movement and frame the central text.

Biomassa e biogás: uso de resíduos e produção no Brasil

A crescente demanda por energias renováveis e sustentáveis na busca pela descarbonização global e redução dos gases de efeito estufa (GEEs) tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias alternativas que propiciem uma matriz elétrica limpa e, ao mesmo tempo, que garanta segurança energética. Nesse contexto, a matéria orgânica encontrada em abundância em aterros sanitários, rede de saneamento básico e utilizada como matéria-prima agrícola ganha destaque a partir da biomassa, da produção do biogás e de seu derivado mais refinado, o biometano.

Caracterizando-se como qualquer material orgânico que pode ser utilizado como fonte de energia, a biomassa no Brasil é predominantemente proveniente de três tipos de resíduos distintos:

- Agrícolas, como o bagaço de cana-de-açúcar, palha de milho, casca de arroz;
- Florestais, como resíduos de madeira, serragem, cavacos; e
- Resíduos urbanos, como resíduos sólidos urbanos, esgoto e resíduos alimentares.

De acordo com os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil atingiu, em novembro de 2025, a marca de 215 *gigawatts* (GW) de potência centralizada, sendo 84,63% são de fontes renováveis e 15,37% de fontes não renováveis (1% nuclear). Atualmente, a terceira fonte renovável que mais contribuiu para a matriz de energia elétrica brasileira foi a biomassa, com 8,26% de participação. O Brasil possui cerca de 654 usinas que utilizam biomassa, totalizando aproximadamente 17 GW de capacidade instalada.

A produção de energia a partir da biomassa pode ocorrer de diversas formas, incluindo a queima direta, a gasificação, a pirólise e a fermentação. No Brasil, a queima direta do bagaço de cana-de-açúcar é uma das principais formas de produção de energia a partir da biomassa, sendo utilizado em usinas de cogeração para a produção de eletricidade e calor.

O biogás, por sua vez, é a mistura de todos os gases produzidos durante a decomposição dos resíduos orgânicos, formando um tipo de biocombustível produzido a partir da decomposição de materiais orgânicos, de origem vegetal ou animal. Sua matéria-prima provém majoritariamente de resíduos gerados em outras atividades, como aterros

de resíduos sólidos urbanos e em unidades agrícolas de produção de cana-de-açúcar, suinocultura, criação de aves, indústria de laticínios, sem prejuízo de outras fontes e aplicações.

Sua captação, feita por dutos, encaminha os resíduos para duas finalidades distintas: a partir do seu processamento, podem ser transformados diretamente em energia elétrica, ou tratados e vendidos como um tipo de combustível renovável – o biometano.

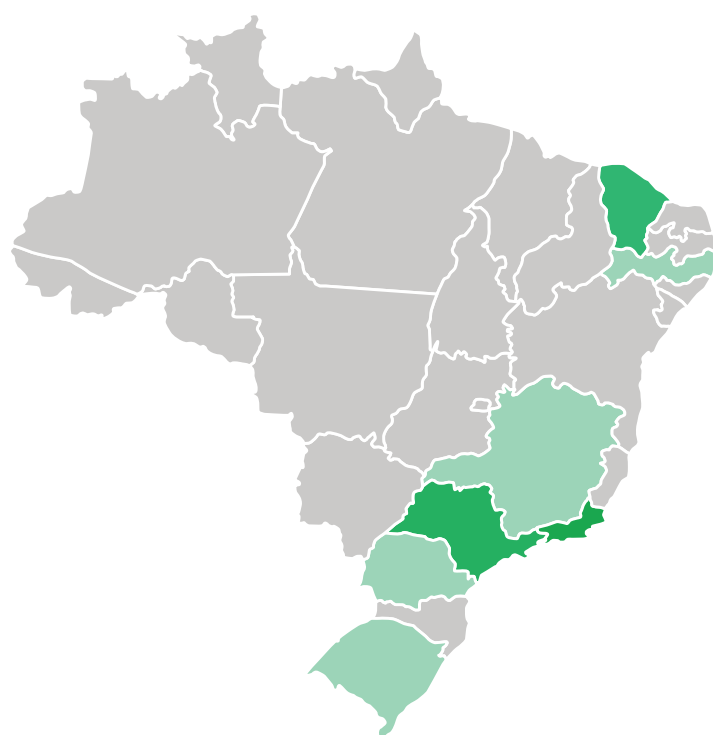
O biometano caracteriza-se pela purificação do biogás, com o objetivo de remover o gás carbônico e aumentar a concentração de metano no biogás, elevando seu poder calorífico e tornando-o equivalente ao gás natural, possibilitando os mesmos usos finais que o do gás de origem fóssil. De modo sustentável, a partir da matéria orgânica, o biometano proporciona seu uso para fins industriais e veiculares a partir de sua injeção na rede de distribuição e seu armazenamento.

Sob essa perspectiva, o biogás e biometano se tornaram altamente atrativos, tornando necessária a regulamentação para que novos investimentos fossem realizados. Nesse sentido, o Governo Federal publicou o Decreto nº 11.003/22, que instituiu a estratégia federal de incentivo ao uso sustentável de biogás e biometano, que traz definições regulatórias importantes e destaca, entre os objetivos, o fomento ao seu uso como fonte de energia e de combustível capaz de reduzir as emissões de GEE.

Por sua vez, a ANP regulamentou o biometano no Brasil a partir de duas resoluções:

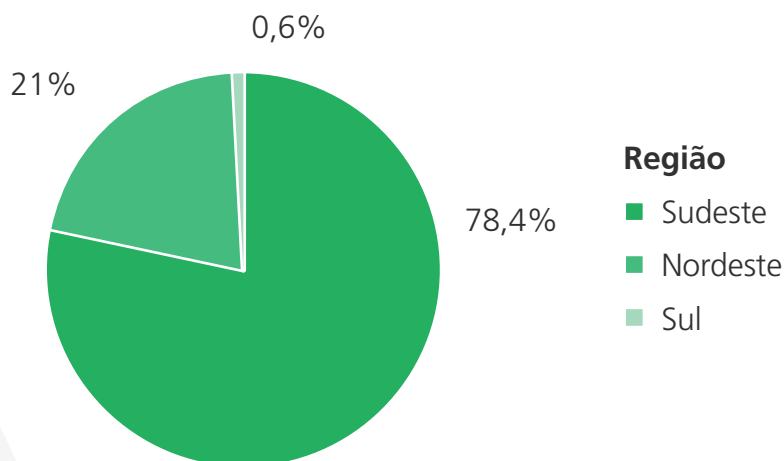
- Resolução ANP n. 886/2022, que estabelece a especificação e as regras para aprovação do controle da qualidade do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto, destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais, a ser comercializado no território nacional; e
- Resolução ANP n. 906/2022, que dispõe sobre as especificações do biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais, destinado ao uso veicular e às instalações residenciais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional.

Além de regulamentar, a ANP também tem o papel de reunir e consolidar dados de produção de biometano oriundos das declarações dos agentes via Sistema de Informações de Movimentações de Produtos, criado com o objetivo de monitorar os dados de produção e movimentação de produtos regulados pela Agência. De acordo com a base de dados atualizada em dezembro de 2025, a produção de biometano em 2025 no Brasil ultrapassou o valor de 94 milhões de metros cúbicos, se concentrando sobretudo nas regiões Sudeste e Nordeste do país.



94,552 Mi
Produção de Biometano (m³)

Capacidade de produção (m³/dia)



Atualmente, o Brasil conta com 17 instalações de biometano autorizadas e em funcionamento, segundo dados da ANP. Até dezembro de 2026, a expectativa é de que a oferta de biometano triplique, impulsionado pela entrada de até 30 novas unidades, a depender da conclusão de todos os projetos em fase de autorização pela ANP.

O número elevado de novas instalações nos últimos anos dialoga com os incentivos promovidos pelo Governo Federal para o setor. Como exemplo, em dezembro de 2022, o Poder Executivo Federal passou a prever a possibilidade de enquadramento de projeto de produção de biometano no Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI), criado pela Lei nº 11.488/2007. Com a publicação da Portaria nº 37/GM/MME/2022, a produção de biometano passou a contar com a suspensão da incidência de PIS e Cofins sobre bens e serviços relacionados às obras de infraestrutura dos projetos de produção do biocombustível.

Além do REIDI, outra política de incentivo ao biometano já consolidada no setor é a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), instituída pela Lei nº 13.576/2017. Seu objetivo é fornecer uma importante contribuição para o cumprimento dos compromissos determinados pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris, a partir da expansão dos biocombustíveis na matriz energética, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis e na redução de emissões de GEEs na produção, comercialização e uso de biocombustíveis.

Nesse sentido, em dezembro de 2024 foi sancionada a Lei nº 15.082/2024, que garante ao produtor de cana-de-açúcar destinada ao biocombustível participação nas receitas obtidas com a negociação de créditos de descarbonização. A lei altera o RenovaBio de modo a incluir produtores independentes de matéria-prima para biocombustíveis na divisão dos Créditos de Descarbonização (CBIOS), incentivando a participação de produtores nesse modo de remuneração, antes exclusiva das usinas de etanol.

Em janeiro de 2025, foi publicada a Lei nº 15.103/2025 que institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten), como ficou conhecido. Essa nova legislação visa incentivar o desenvolvimento de projetos, pesquisas e inovações tecnológicas em setores estratégicos que promovam a energia limpa, dentre estes o de biocombustíveis, facilitando o seu acesso a financiamentos de projetos de energia de baixo carbono.

Além disso, o programa busca estimular a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias de captura e armazenamento de carbono, hidrogênio verde, biogás e outras soluções de energia sustentável.

Para isso, foi criado o Fundo de Garantias para o Desenvolvimento Sustentável (Fundo Verde), que utilizará valores que as empresas têm direito de receber da União para garantir os pagamentos aos bancos em casos de inadimplência. Com essa segurança, os bancos tendem a reduzir os juros. Além disso, a Lei também permite vincular as negociações de dívidas com o Fisco a investimentos em desenvolvimento sustentável, utilizando o mecanismo de “transações tributárias”, que busca uma solução amigável entre o contribuinte e a administração pública.

As políticas públicas e os esforços da sociedade civil em torno da biomassa e do biogás deixam claro como o setor vem se tornando um caminho possível no esforço para um futuro mais sustentável. Seus inúmeros benefícios ambientais e econômicos, a partir da gestão sustentável de resíduos, com a conversão de resíduos em energia contribuindo para a redução do volume de resíduos destinados a aterros sanitários, e a descentralização da geração de energia podendo ocorrer em diferentes regiões, contribuem em última escala para a segurança energética do país.

Apesar do grande potencial, essa forma de produção de energia enfrenta alguns desafios. A necessidade de investimentos em infraestrutura e tecnologia, a integração com a rede elétrica, sobretudo diante da dificuldade de escoamento da energia elétrica pelos sistemas de transmissão, a ainda incipiente oferta de soluções em armazenamento de energia e a competitividade com outras fontes de energias renováveis que já gozam de incentivos mais robustos no mercado, são apenas alguns exemplos

Contudo, as perspectivas para o setor são promissoras e o Brasil vem se consolidando como um país referência na utilização da biomassa e do biogás nos esforços pela descarbonização global. Seu potencial não é dimensionado somente em termos energéticos, mas torna-se ainda mais relevante quando atrelado à necessária gestão de resíduos e seu máximo reaproveitamento.



Parceria, objetividade, firmeza, atenção às tendências, agilidade, experiência, inovação, interesse no outro e paixão em solucionar problemas. Características como essas fazem parte do DNA do BMA e descrevem nossa atuação nos mais de 30 anos que estamos no mercado participando das transações mais relevantes e complexas da história recente do país. Assessoramos diferentes tipos de indústrias e companhias nacionais e internacionais que possuem negócios ou pretendem entrar no mercado brasileiro, sempre com foco em encontrar soluções eficazes para todo tipo de questão que nossos clientes venham a ter, mesmo as consideradas impossíveis pelo mercado.

Somos parceiros de negócios dos nossos clientes, proporcionamos um olhar atento às necessidades das organizações para antecipar tendências e problemas, buscando soluções personalizadas para o desenvolvimento de cada negócio. A multidisciplinaridade é uma marca do nosso escritório. Nossos profissionais são profundos conhecedores dos setores público e privado, regulados ou não, e estão sempre em busca das saídas mais criativas, arrojadas, sofisticadas e vantajosas para os clientes. Esse tipo de comportamento questionador e preciso permitiu que criássemos uma série de soluções customizadas, inovadoras e até mesmo inéditas, moldando a forma de fazer negócios no país do final do século 20 em diante.

The background is a solid light green color. It features two large, thick, dark green curved shapes. One shape is in the top right corner, curving from the top edge towards the center. The other shape is in the bottom left corner, curving from the bottom edge towards the center. These shapes create a sense of movement and depth.

Hidrogênio verde: potencial e tecnologias

À medida que o mundo busca alternativas sustentáveis para sua matriz energética, o hidrogênio verde (H_2V) tem se consolidado como uma das tecnologias mais promissoras para a descarbonização da economia global. Produzido a partir da eletrólise da água com uso de eletricidade proveniente de fontes renováveis (como solar, eólica ou hídrica), o H_2V não emite CO_2 em sua produção, ao contrário do hidrogênio cinza, obtido a partir de gás natural.

O processo de eletrólise consiste em separar as moléculas de hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2) da água por meio da aplicação de corrente elétrica. Esse processo ocorre em um equipamento chamado eletrolisador, que possui dois eletrodos: o ânodo (polo positivo), onde ocorre a liberação de oxigênio, e o cátodo (polo negativo), onde o hidrogênio é liberado. Quando alimentado por energia limpa, esse processo garante um ciclo livre de emissões de carbono, caracterizando o combustível como "verde".

As principais tecnologias de eletrólise atualmente em desenvolvimento e aplicação comercial são:

Eletrólise Alcalina (AWE - Alkaline Water Electrolysis): trata-se da tecnologia mais madura e amplamente utilizada comercialmente. Utiliza uma solução alcalina (geralmente hidróxido de potássio) como eletrólito e eletrodos separados por um diafragma. É caracterizada por sua confiabilidade, longa vida útil e custos relativamente baixos. No entanto, possui menor flexibilidade operacional e resposta lenta a variações de carga, o que pode limitar sua integração com fontes intermitentes de energia renovável.

Eletrólise de Membrana de Troca de Prótons (PEM - Proton Exchange Membrane): utiliza uma membrana polimérica sólida como eletrólito, permitindo operação em pressões mais altas e resposta mais rápida à variação de carga. Isso a torna ideal para aplicações acopladas a fontes renováveis. Embora apresente maior densidade de corrente e compactação, seus custos são mais elevados, devido ao uso de materiais nobres como platina e irídio.

Eletrólise de Óxido Sólido (SOEC - Solid Oxide Electrolysis Cell): opera em altas temperaturas e utiliza um eletrólito cerâmico sólido. Tem como vantagem a alta eficiência energética, especialmente quando o calor residual pode ser aproveitado, sendo

promissora para integração em processos industriais. Contudo, está em estágios menos avançados de comercialização e enfrenta desafios relacionados à durabilidade dos materiais e à complexidade de operação.

O hidrogênio verde apresenta grande potencial para substituir combustíveis fósseis em setores de difícil eletrificação, como a indústria pesada (cimento, aço e química), transporte de longa distância (aviões, navios e caminhões) e armazenamento energético de longo prazo. Seu uso contribui diretamente para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e para o alcance das metas de neutralidade de carbono.

Para viabilizar o transporte e o armazenamento do hidrogênio em larga escala, especialmente em rotas de exportação ou em regiões distantes dos pontos de produção, são utilizados os chamados carreadores de hidrogênio (*hydrogen carriers*). Os três principais atualmente considerados são:

Amônia (NH_3): é um dos carreadores mais promissores devido à sua elevada densidade de hidrogênio, facilidade de liquefação sob condições moderadas de pressão e temperatura, e infraestrutura já existente para transporte e manuseio. A amônia pode ser usada diretamente como combustível em algumas aplicações ou reconvertida em hidrogênio por meio de processos de *cracking*. É amplamente estudada como vetor para exportação de hidrogênio verde, inclusive no Brasil.

Metanol (CH_3OH): outro carreador líquido com boa densidade energética e infraestrutura estabelecida. Pode ser produzido a partir do hidrogênio verde e do CO_2 capturado, resultando em um combustível líquido sintético com baixo teor de carbono (e-metanol). Além de sua aplicação como combustível direto em motores e células a combustível, o metanol também pode ser reconvertido em hidrogênio.

LOHC (*Liquid Organic Hydrogen Carriers*): são compostos orgânicos líquidos capazes de absorver e liberar hidrogênio por meio de reações químicas reversíveis. Destacam-se pela segurança no manuseio, já que permanecem líquidos sob condições ambientes, e pela possibilidade de utilizar a infraestrutura de combustíveis líquidos. Apesar disso, os processos de carga e descarga ainda requerem altas temperaturas e enfrentam desafios tecnológicos e econômicos para maior adoção.

Apesar de seu enorme potencial, o hidrogênio verde ainda enfrenta desafios significativos, como o alto custo da tecnologia de eletrólise, a necessidade de investimentos em infraestrutura, e a criação de um marco regulatório específico. Questões como escalabilidade da produção, segurança no transporte e eficiência no armazenamento também merecem atenção.

Por outro lado, as perspectivas são positivas. Com a redução dos custos das energias renováveis, o avanço tecnológico dos eletrolisadores e o crescente interesse internacional, espera-se que o H₂V se torne competitivo em larga escala nos próximos anos.





A Sener, uma empresa privada de engenharia de origem espanhola com mais de 60 anos de expertise no mercado global. Atuamos com soluções tecnológicas inovadoras em setores estratégicos como infraestrutura, energy, aeroespacial, defesa e data centers.

No mercado brasileiro, a Sener tem como foco principal os setores de energia e mobilidade, oferecendo soluções inovadoras e sustentáveis.

Na área de energia, a Sener atua no desenvolvimento de projetos voltados para a transição energética e a sustentabilidade, com ênfase em:

- Hidrogênio e carriers;
- Economia circular;
- Gás;
- Energia;
- Fontes renováveis e sistemas de armazenamento;
- Energia eólica e energias marinhas;
- Indústria sustentável.

Já no setor de mobilidade, a empresa contribui com projetos que promovem a modernização da infraestrutura de transporte no país, abrangendo:

- Ferrovias;
- Metrô leve e bondes;
- Estradas e rodovias;
- Aeroportos;
- Portos;
- Consultoria em novas tecnologias;
- Arquitetura;
- Água e meio ambiente.

Com uma sólida presença global, a Sener está presente em 41 países com diversos projetos, com escritórios em 18 países e mais de 4.000 colaboradores.

The background is a solid light green color. It features two large, thick, dark green curved shapes. One shape is in the top right corner, curving downwards and to the left. The other is in the bottom left corner, curving upwards and to the right. These shapes create a sense of movement and modern design.

Avanços tecnológicos e o futuro das energias renováveis

A transição para um sistema energético mais limpo, seguro e sustentável tem como principal alicerce a inovação tecnológica. Em um cenário global marcado pelo avanço das mudanças climáticas, pressão para reduzir emissões de carbono e necessidade de ampliar o acesso à energia, o desenvolvimento tecnológico se tornou o grande motor de transformação do setor de energias renováveis. Além de ser uma alternativa ambientalmente correta, essas fontes passaram a ser competitivas, eficientes e estratégicas para o crescimento econômico.

A convergência entre tecnologia e sustentabilidade vem promovendo avanços significativos ao longo de toda a cadeia do setor elétrico, desde a geração até o consumo. Tecnologias já consolidadas, como a solar e a eólica, se tornaram mais eficientes e acessíveis, enquanto soluções inovadoras, como sistemas avançados de armazenamento, redes inteligentes e ferramentas digitais baseadas em dados, estão redefinindo a forma como a energia é produzida, distribuída e gerenciada no mundo.

O papel da inovação no avanço das energias renováveis

A inovação tecnológica atua como um catalisador para o crescimento das energias renováveis. Investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento permitiram ganhos expressivos de eficiência, redução de custos e aumento da confiabilidade das fontes renováveis. Painéis solares mais eficientes, turbinas eólicas de maior porte e sistemas digitais de controle são exemplos claros de como a tecnologia tornou essas fontes cada vez mais competitivas frente às fontes convencionais.



Além disso, o desenvolvimento tecnológico tem ampliado a escalabilidade das energias renováveis, permitindo sua aplicação desde pequenos sistemas residenciais até grandes complexos de geração em larga escala. Esse avanço contribui para a diversificação do mix energético, reduz a dependência de combustíveis fósseis e fortalece a segurança energética dos países.

Armazenamento de energia: viabilizando fontes intermitentes

Um dos maiores desafios das energias renováveis é a intermitência, especialmente no caso da solar e da eólica. Nesse contexto, as tecnologias de armazenamento de energia assumem papel central. Soluções como baterias de íon-lítio de nova geração, baterias de fluxo, armazenamento térmico e o hidrogênio verde vêm se tornando mais eficientes, duráveis e economicamente viáveis.

Essas tecnologias permitem armazenar o excedente de energia gerado em momentos de alta produção para uso posterior, garantindo maior estabilidade no fornecimento e facilitando a integração das renováveis às redes elétricas. O armazenamento também amplia a autonomia de consumidores e comunidades, reforçando modelos de geração distribuída e sistemas energéticos descentralizados.

Inteligência artificial, *big data* e eficiência operacional

A digitalização do setor elétrico tem sido impulsionada pela aplicação de inteligência artificial (IA) e *big data*. Algoritmos avançados são capazes de analisar grandes volumes de dados em tempo real, otimizando a operação de usinas solares e eólicas, prevendo falhas em equipamentos e reduzindo custos de manutenção.

A IA também melhora a previsão de geração e de demanda de energia, tornando a operação do sistema elétrico mais eficiente e confiável. Com previsões mais precisas, é possível equilibrar oferta e consumo, evitar desperdícios e integrar um volume crescente de fontes renováveis à rede, sem comprometer a estabilidade do sistema.

Redes inteligentes e descentralização da energia

As redes inteligentes, ou *smart grids*, representam uma das transformações mais

profundas do setor elétrico. Por meio da automação, da comunicação bidirecional e do monitoramento em tempo real, essas redes permitem uma gestão mais eficiente da energia, integrando fontes renováveis descentralizadas, sistemas de armazenamento e consumidores ativos.

As *smart grids* reduzem perdas elétricas, aumentam a resiliência do sistema e possibilitam respostas automáticas à demanda, evitando sobrecargas. Os medidores inteligentes, por sua vez, oferecem maior transparência ao consumidor, que passa a acompanhar e otimizar seu consumo de energia de forma mais consciente.

Tecnologias emergentes e diversificação do mix energético

Além das fontes já consolidadas, a inovação tecnológica vem impulsionando o desenvolvimento de tecnologias emergentes, como a energia das marés, a energia geotérmica e as células solares orgânicas. Essas soluções ampliam o leque de opções disponíveis para a geração de energia limpa, permitindo maior adequação às diferentes realidades geográficas e climáticas.

Embora ainda estejam em estágios distintos de maturidade, essas tecnologias têm potencial para complementar as fontes tradicionais e fortalecer a diversificação do sistema energético, tornando-o mais resiliente e sustentável no longo prazo.



Impactos econômicos, ambientais e sociais

Os impactos da inovação tecnológica no setor de energias renováveis vão além da esfera ambiental. Do ponto de vista econômico, o crescimento do setor impulsiona a geração de empregos em áreas como engenharia, tecnologia, instalação, operação, manutenção e análise de dados. Surgem também novas profissões ligadas à digitalização, à automação e à gestão inteligente da energia.

A redução dos custos de geração torna a energia renovável mais acessível para empresas e consumidores, contribuindo para a competitividade econômica e para a redução da chamada inflação energética. Ambientalmente, a substituição de fontes fósseis por energias limpas reduz significativamente as emissões de gases de efeito estufa, minimiza impactos ambientais e contribui para o cumprimento das metas climáticas globais.

Tecnologia como base da transição energética

A transição energética está diretamente associada ao avanço tecnológico. A ampliação do uso de fontes renováveis, o foco na eficiência energética e a digitalização do setor elétrico formam um tripé essencial para um sistema energético mais sustentável. Tecnologias como Internet das Coisas (IoT), blockchain, automação e integração com veículos elétricos ampliam ainda mais as possibilidades de gestão inteligente da energia.

Essas inovações permitem desde o monitoramento preditivo das redes até a comercialização descentralizada de energia, fortalecendo modelos colaborativos e participativos, como comunidades energéticas e geração distribuída.

Considerações finais

A inovação e o desenvolvimento tecnológico são os grandes responsáveis por transformar as energias renováveis em protagonistas da matriz energética global. Ao tornar essas fontes mais eficientes, acessíveis e confiáveis, a tecnologia acelera a transição para um modelo energético mais limpo, resiliente e inclusivo.

Para que esse processo continue avançando, é fundamental o engajamento conjunto de governos, empresas, instituições de pesquisa e sociedade. Investir em inovação hoje significa garantir um futuro energético mais sustentável, competitivo e alinhado às necessidades das próximas gerações.



Fundada em 1955, a Câmara Oficial Espanhola de Comércio no Brasil é uma associação empresarial dedicada a fomentar e fortalecer as relações econômicas, comerciais e institucionais entre Brasil e Espanha. Ao longo de sete décadas, a Câmara consolidou-se como um espaço estratégico de conexão entre empresas, governos e demais atores-chave, acompanhando as transformações do cenário empresarial bilateral e contribuindo ativamente para o desenvolvimento de um ambiente de negócios dinâmico, diverso e sustentável.

Com uma base de associados formada por empresas de múltiplos setores, portes e nacionalidades — que inclui desde pequenas e médias empresas até grandes grupos multinacionais — a Câmara atua como uma plataforma de articulação, networking qualificado e geração de oportunidades. Sua atuação vai além da promoção do intercâmbio comercial entre Brasil e Espanha, abrangendo também o apoio ao posicionamento de empresas no mercado brasileiro, a conexão entre importadores, investidores e parceiros comerciais, além do incentivo a iniciativas de inovação e desenvolvimento sustentável.

A Câmara desenvolve e compartilha informações estratégicas por meio de comitês setoriais, eventos técnicos, fóruns de debate e missões empresariais, promovendo o diálogo entre especialistas e a troca de boas práticas. Essa atuação é sustentada por três pilares fundamentais: o institucional, como ponte de apoio às empresas espanholas e ibero-europeias no Brasil; o networking, que conecta pessoas e organizações em um ambiente de confiança; e o suporte técnico e de conteúdo, que estimula a produção e a disseminação de conhecimento qualificado sobre temas relevantes para o ambiente de negócios.

The background is a solid light green color. It features two large, thick, dark green curved shapes. One shape is in the top right corner, curving from the top edge towards the center. The other shape is in the bottom left corner, curving from the bottom edge towards the center. These shapes create a sense of movement and frame the central text.

Políticas e incentivos para energias renováveis

As metas assumidas por diversos países no âmbito do Acordo de Paris (*United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC) aumentam a pressão para a redução das emissões de gases de efeito estufa e combate às mudanças climáticas. Ao ratificar o Acordo de Paris, o Brasil, conforme os termos do Decreto nº 9.073/2017, se comprometeu a atender as seguintes Contribuições Nacionalmente Determinadas (CND ou NDC, do acrônimo inglês): redução das emissões nacionais de CO₂ em 37%, até 2025, e 43%, até 2030, com base no nível de emissões de 2005.

Por conta desse e outros fatores, há um imperativo global pela implementação de políticas e incentivos ao movimento de transição energética. Nesse sentido, algumas medidas já colocadas em prática no Brasil podem contribuir para os movimentos globais de transição energética em curso, o combate a mudanças climáticas e o atingimento de compromissos e metas internacionais de descarbonização.

Muitos consumidores vêm optando pela contratação de energia proveniente de projeto geração renovável. Consequentemente, muitos agentes de geração vêm manifestando interesse em ofertar soluções aderentes ao anseio do mercado. Nessa toada, deve-se compreender os atuais incentivos do Estado brasileiro para o desenvolvimento das energias renováveis no país.

Sem a pretensão de ser inteiramente exaustivo sobre esse vasto tema, o objetivo deste artigo é apresentar alguns elementos das principais políticas brasileiras no campo da transição energética. Partimos de um registro histórico do marco inicial dos incentivos às fontes renováveis, com a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), passamos pelos atuais incentivos a fontes renováveis na forma de desconto tarifário e chegamos aos incentivos inseridos nos regimes de geração distribuída e autoprodução de energia que foram (e são) responsáveis por parcela significativa das fontes renováveis hoje presentes no parque gerador brasileiro. Também são abordados ao final políticas e incentivos voltados à indústria dos biocombustíveis e do hidrogênio tendo em vista a desafiadora missão de descarbonizar a economia nacional.

Registro histórico: o início dos incentivos com o PROINFA

O início dos incentivos à diversificação da oferta elétrica no Brasil com a difusão de outras fontes de geração além da hídrica e térmica ocorreu por meio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Trata-se de um importante marco que serviu de estopim das políticas públicas para a difusão de fontes renováveis e o início da década de 2000.

A criação do PROINFA, pela Lei nº 10.438/2002, foi norteadada, principalmente:

- Pela expansão da oferta de energia emergencial, dado que a medida visou aumentar a capacidade de geração para atender à demanda crescente e evitar racionamentos, a exemplo do ocorrido em 2001;
- Pelo incentivo às fontes alternativas, pois buscou promover o uso de fontes renováveis, como eólica, solar, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas, contribuindo para a sustentabilidade e segurança energética; e
- Pela diversificação da matriz energética, entendida como essencial para reduzir riscos associados à dependência de uma única fonte e para enfrentar variações climáticas que afetam a geração hidrelétrica. À época, essas medidas foram avaliadas como fundamentais para garantir a estabilidade e a sustentabilidade do fornecimento de energia no Brasil.



A referida lei foi sucessivamente alterada ao longo dos anos, mas manteve, em linhas gerais, a estrutura do programa organizada em duas etapas. A primeira etapa consistiu em contratos de longo prazo celebrados junto a Eletrobrás; início de funcionamento das centrais geradoras participantes do programa até certo marco temporal (que foi alterado de 31 de dezembro de 2006 para 30 de dezembro de 2008), compra assegurada da energia por 20 anos; e definição da marca de 3.300 MW a serem atingidos de forma igualmente distribuída entre as fontes participantes (eólica, PCHs e biomassa).

Já a segunda etapa do programa iniciou-se após atingida a meta de 3.300 MW, com o objetivo de fazer as fontes alternativas atenderem 10% do consumo anual de energia elétrica do país em até 20 anos. Novamente, a sistemática consistiu na celebração de contratos de compra e venda junto à Eletrobrás, com prazo de duração de 20 anos e preço equivalente ao valor econômico correspondente à geração de energia competitiva.

Estabeleceu-se, ainda, um programa anual com, no mínimo, 15% dessas fontes de incremento anual de energia elétrica a ser fornecida ao mercado consumidor nacional, e o produtor de energia foi incentivado com um crédito complementar, com recursos da CDE, representando a diferença em relação ao valor econômico da tecnologia específica da fonte, conforme definição do Poder Executivo.

O custeio destas centrais geradoras é dividido em cotas mensais, recolhidas por distribuidoras, transmissoras e cooperativas permissionárias. O cálculo das cotas é baseado no Plano Anual do PROINFA (PAP) elaborado pela Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional (ENBPAR) e encaminhado para a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Os valores são pagos por todos os consumidores livres e regulados do SIN, exceto os classificados como baixa renda beneficiários da Tarifa Social de Energia Elétrica (art. 3º, I e II da Lei nº 10.438/2002).

De acordo com dados divulgados pela ENBPAR, a partir da implementação do PROINFA, foram adicionados ao SIN um total de 131 novos empreendimentos, totalizando uma capacidade instalada de 2.975,10 MW, divididos em:

- 60 PCHs, com capacidade instalada de 1.159,24 MW;
- 52 usinas eólicas, com capacidade instalada de 1.282,52 MW; e

- 19 termelétricas movidas a biomassa, com capacidade instalada de 533,34 MW.

Esse estopim foi complementado e intensificado por incentivos que serão apresentados nas seções adiante.

Incentivo a fontes renováveis por meio de desconto na tarifa-fio

A tarifa-fio é a denominação comumente utilizada para se referir à Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e à Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST), cobradas dos usuários das referidas redes. Essas tarifas são aplicadas, por exemplo, aos consumidores e aos geradores que utilizam a infraestrutura elétrica para receber energia para consumo ou transportar a energia das usinas geradoras até os pontos de consumo.

A Lei nº 9.427/1996, em seu art. 26, §§1º, 1º-A e 1º-B, prevê um incentivo aplicável às centrais geradoras a partir de fontes renováveis (solar, eólica, biomassa, cogeração qualificada e hídrica), cuja potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 30MW, com desconto de 50% no pagamento de tarifas de uso das redes de distribuição e transmissão (TUST e TUSD). O benefício em questão é aplicável desde que a usina tenha entrado em operação comercial a partir de 1º de janeiro de 2016 (art. 26, §1º, da Lei nº 9.427/1996).

Exclusivamente para os empreendimentos com base em fontes solar, eólica e biomassa, esse desconto também é aplicável para usinas cuja potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 300 MW e atendam a quaisquer dos seguintes critérios: resultem de leilão de compra de energia realizado a partir de 1º de janeiro de 2016 ou tenham obtido a outorga a partir de 1º de janeiro de 2016.

Por meio dessa política de subsídio aos usuários das redes, geradores e consumidores, o objetivo foi promover a chamada energia “incentivada”, proveniente de fontes renováveis como solar, eólica e biomassa, que se beneficiam dos referidos descontos na tarifa-fio. Esses incentivos são parte primordial das políticas de promoção de energia limpa e sustentável no Brasil. Como impacto positivo obtido ao longo dos anos com essa política, destaca-se o incentivar o uso de fontes menos poluentes em vista da transição para uma matriz mais limpa e sustentável, contribuindo para a redução das

emissões de gases de efeito estufa.

Ocorre que as fontes incentivadas por essa política de subsídio evoluíram substancialmente nos últimos anos. As tecnologias e equipamentos de geração, notadamente a partir das fontes solar e eólica, já experimentaram significativa redução de preços e chegaram à segunda e terceira posições na oferta de eletricidade nacional, de acordo com dados da ABSOLAR que contemplam a capacidade instalada de micro e minigeração distribuída (MMGD).

Diante disso, o Governo Federal concluiu que a manutenção desses subsídios não seria mais necessária no atual panorama. Assim, a Lei nº 14.120/2021 (resultado da conversão da Medida Provisória nº 998/2020) alterou as regras de aplicação do desconto na TUST/TUSD para novos empreendimentos. A partir das disposições introduzidas por esse diploma, as centrais geradoras de fonte solar, eólica e biomassa passaram a fazer jus ao percentual de redução descrito acima somente se:

- Suas outorgas fossem solicitadas no prazo de até 12 meses, contados a partir de 2 de março de 2021; e
- A operação de todas as suas unidades geradoras se inicie no prazo de até 48 meses, contados da data da outorga.



Já para empreendimentos hidrelétricos, as usinas com potência instalada menor ou igual a 30MW, o referido desconto será concedido para novos empreendimentos que forem outorgados até 2 de março de 2032 (porém, a redução será de 50% para outorgas solicitadas até 2 de março de 2027, e de 25% a partir desta data).

Vale ressaltar que tais descontos não serão aplicados após o fim do prazo da outorga original, ainda que haja a sua prorrogação.

Isto é, com o advento da Lei nº 14.120/2021, alterou-se a sistemática do desconto aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição. A referida legislação determinou o fim dos descontos aplicados, estabelecendo para tanto um período de transição para que os interessados em implantar projetos de geração fizessem jus ao benefício do desconto na TUST/TUSD.

Conforme descrito acima, em linhas gerais, ficou determinado que os interessados que solicitassem outorga em uma janela de um ano após a publicação da lei e iniciassem a operação das unidades geradoras em até quatro anos contados da publicação da outorga, ainda teriam direito ao referido desconto na tarifa-fio.

Como mencionado, a regra de transição para manutenção do desconto na tarifa-fio foi resultado da Medida Provisória nº 998/2020, cujo principal intuito foi evitar potenciais aumentos das tarifas de energia elétrica decorrentes dos efeitos econômicos da pandemia de Covid-19. Para tanto, a Lei nº 14.120/2021 previu o remanejamento de recursos do setor elétrico, destinando ou preservando parte deles à CDE, responsável por custear diversos subsídios em benefício dos consumidores.

Como o desconto na TUSD/TUST é custeado pela CDE, a redução desses subsídios foi indicada como fator determinante para assegurar o objetivo da Medida Provisória nº 998/2020 e minimizar os impactos tarifários futuros. Isso porque outros mecanismos também previstos em sua redação não seriam suficientes, por si só, para alcançar a modicidade tarifária pretendida.

Portanto, para que os projetos de geração de energia sejam contemplados na regra de transição e consigam manter o desconto da TUSD/TUST, é necessário o cumprimento dos prazos legais para:

- A solicitação de outorga; e
- A entrada em operação comercial. Além disso, os descontos deixarão de ser aplicados aos empreendimentos após o fim do prazo das suas outorgas ou caso haja prorrogação (nos termos do § 1º-F da Lei nº 9.427/1996).

Posteriormente, a Medida Provisória nº 1.212/2024 concedeu sobrevida aos descontos tarifários aqui apresentados. Por meio dela, o Governo Federal concedeu o direito de prorrogar por mais 36 meses o prazo de início da operação comercial, desde que atendidos os seguintes requisitos:

- Apresentação de garantia de desempenho equivalente a 5% do investimento estimado; e
- “Início de obras civis” (conforme será definido pelo MME) no prazo de 18 meses contados da emissão da MP nº 1.212/2024.

Considerando o exposto, em 14 de maio de 2024, a ANEEL editou o Despacho nº 1.498/2024 estabelecendo que os agentes deveriam:

- Apresentar o pedido de prorrogação à ANEEL até 10 de junho de 2024;
- Apresentar Termo de Adesão no prazo de 45 dias contados da apresentação do pedido de prorrogação;
- Apresentar garantia de fiel cumprimento até 9 de julho de 2024;
- Iniciar obras civis no prazo de 18 meses contados da edição da MP nº 1.212/2024; e
- Iniciar a operação comercial nos 36 meses adicionais. Para os agentes que atenderam os requisitos acima, a área técnica da ANEEL emitiu um ato específico prorrogando o cronograma de implantação por 36 meses.

Em 7 de junho de 2024, o MME editou a Portaria nº 79/2024, que definiu:

- As normas para cálculo do valor da garantia de fiel cumprimento exigida até 9 de julho de 2024; e

- O que é necessário para que se considere atingido o marco de “início das obras civis”:
 - A implantação do canteiro de obras e a montagem das infraestruturas de apoio à construção; ou
 - Apresentação de documentação referente à aquisição de unidades geradoras. A Portaria nº 79/2024 também estipulou que, no início das obras civis, os agentes poderão solicitar a alteração das características técnicas dos empreendimentos, incluindo localização e parâmetros das unidades geradoras de energia, sem prejuízo do direito à prorrogação do desconto TUST/TUSD.

Em resumo, a medida provisória atingiu seu objetivo de estabelecer um prazo adicional de 36 meses, em relação aos 48 meses já previstos na legislação, para a entrada em operação comercial dos empreendimentos que pretendam fazer jus ao desconto na tarifa-fio. Com isso uma série de projetos de geração de energia a partir de fontes renováveis teve êxito na obtenção de mais prazo para usufruir dos incentivos em questão, subsídios esses que continuarão sendo custeados pela CDE.

Incentivos sob os regimes de geração distribuída e autoprodução

Geração distribuída

A micro e minigeração distribuída (MMGD) tornaram-se tema de crescente relevância no cenário energético mundial, refletindo as novas tendências de produção e consumo de energia elétrica. No Brasil, esse modelo tem ganhado destaque, sendo impulsionado por fatores como a necessidade de diversificação da matriz elétrica, a descentralização da produção de energia e a busca por soluções sustentáveis.

O marco inicial desse processo, no âmbito da ANEEL, foi a promulgação da Resolução Normativa nº 482/2012. Essa normativa estabeleceu as diretrizes para a geração de energia por pequenos produtores, permitindo que consumidores gerassem sua própria energia a partir de fontes renováveis, como solar, eólica, biomassa e hidráulica, conectando-se à rede de distribuição.

Para isso, foi criado um Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), para a utilização de créditos de energia, permitindo que os consumidores injetem o excedente de energia elétrica produzida na rede de distribuição, recebendo um abatimento do valor proporcional em seus faturamentos de consumo posteriores com validade de 60 meses. No modelo inicial da MMGD, a compensação dos créditos considerava todas as componentes tarifárias da conta de luz, ou seja, tanto os componentes da Tarifa de Energia (TE) quanto da já citada TUSD.

Em 2015, foi editada a Resolução Normativa nº 687/2015, que inovou com a possibilidade de geração compartilhada, por meio da qual mais de um consumidor pode se beneficiar do mesmo sistema de geração distribuída. Nesse sentido, passou-se a dividir a MMGD em dois grandes grupos que levam em consideração o método de exploração da central geradora: a MMGD individual e a MMGD coletiva.

Em 2022 foi editada a Lei nº 14.300/2022, originando o Marco Legal da MMGD, que organizou e consolidou as regras desse modelo de geração, com o intuito de fomentar a difusão dessa modalidade de geração para consumo próprio no país, mas também atendendo a alguns pedidos das distribuidoras de energia. Com o marco da MMGD, novas regras para o regime tarifário anual foram estabelecidas, criando um período de transição.



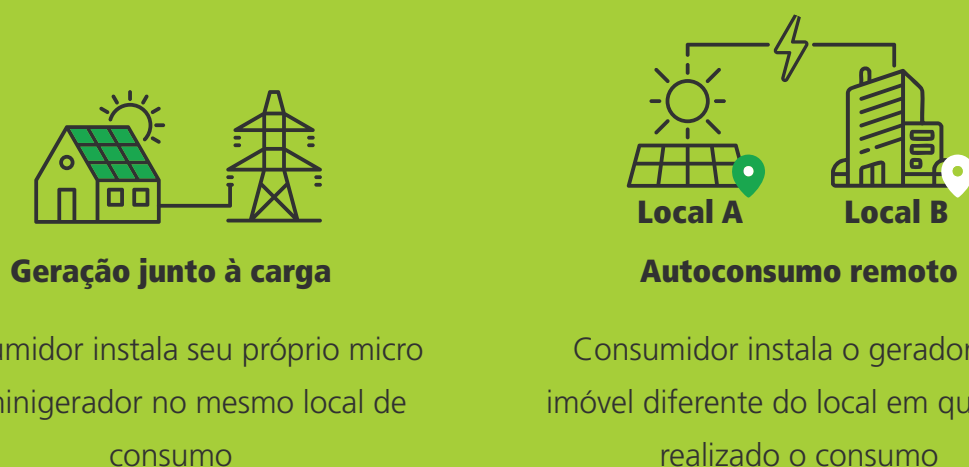
O marco legal implicou a atualização da regulamentação da ANEEL, que passou a disciplinar o tema na Resolução Normativa nº 1.000/2021 (com alterações da Resolução Normativa nº 1.059/2023). Atualmente, a MMGD é classificada levando em consideração a potência instalada: a microgeração consiste em usinas de até 75 kW; e a mini-geração consiste em usinas com potência instalada entre 75 kW e 5 MW no caso de fontes despacháveis, e de 75 kW a 3 MW no caso de usinas não despacháveis.

Em linhas gerais, a MMGD individual é aquela em que o próprio consumidor instala e explora sozinho a central geradora, que por sua vez pode ser instalada no mesmo local do consumo (modalidade “Geração Junto à Carga”) ou em local distante do consumo, mas dentro da mesma área de concessão, autorização ou permissão da concessionária de distribuição à qual está conectado (“Autoconsumo Remoto”).

Já a MMGD coletiva é aquela em que uma única central geradora abastece dois ou mais consumidores, que podem se reunir em consórcio, cooperativa ou outra forma de associação civil para explorar o mesmo sistema de geração (“Geração Compartilhada”), ou um mesmo empreendimento possui mais de uma unidade consumidora em seu interior e instala uma central geradora em área comum ao condomínio (“Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras”).

As modalidades de MMGD são sintetizadas por meio da Figura 1:

Figura 1 – Modalidades de MMGD





Geração compartilhada

Reunião de dois ou mais consumidores para compartilhamento da geração de um mesmo sistema (consórcio, cooperativa ou outra forma de associação civil)



Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras

Condomínios residenciais ou comerciais que instalam o gerador em área comum do empreendimento

Fonte: Elaboração própria

Para fins tarifários, a Lei nº 14.300/2022 estabeleceu um recorte temporal que leva em consideração a data de solicitação da conexão à distribuidora local e a potência instalada das centrais geradoras.

Em decorrência do Marco Legal da MMGD, a regulamentação da ANEEL foi modificada para contemplar, entre outros aspectos, o enquadramento de empreendimento de MMGD em três regimes tarifários distintos: GD I, II e III (conforme os termos da Resolução Normativa nº 1.000/2021, com alterações da Resolução Normativa nº 1.059/2023).

O regime tarifário de GD I se aplica às conexões existentes à época da publicação da lei ou solicitadas até 7 de janeiro de 2023. Para esses foi assegurado, como regra geral, a manutenção das regras atuais, isto é, de compensação integral das componentes tarifárias.

As regras atuais serão aplicadas até 31 de dezembro de 2045 para as unidades consumidoras que: já se beneficiam de empreendimentos de GD na data de publicação da lei; ou tenham protocolado solicitação de acesso à distribuidora em até 12 meses após a publicação da lei e cumpram os prazos a seguir para começar a injetar energia na rede (contados da emissão do respectivo orçamento de conexão): microgeradores 120 dias; minigeradores (fonte solar) 12 meses; e minigeradores (outras fontes) 30 meses.

As usinas que não se enquadrarem nos casos acima estarão sujeitas às regras de transição; e após o período de transição, às novas regras. A partir de 1º de janeiro de 2046, todas as usinas estarão sujeitas às novas regras.

O regime de GD III se aplica a projeto de autoconsumo remoto ou de geração compartilhada de fonte não despachável e com potência superior a 0,5 MW. Para os agentes que forem enquadrados como GD III, aplica-se o seguinte regime: entre 2023 e 2028, deverão pagar: 100% da TUSD Fio B; 40% da TUSD Fio A (custos relacionados ao uso de ativos de terceiros); e 100% dos custos da Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE) e Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), hoje cobrados via TUSD Encargos e TE Encargos.

Já a partir de 2029, passa-se a aplicar a nova regra tarifária a ser editada pela ANEEL.

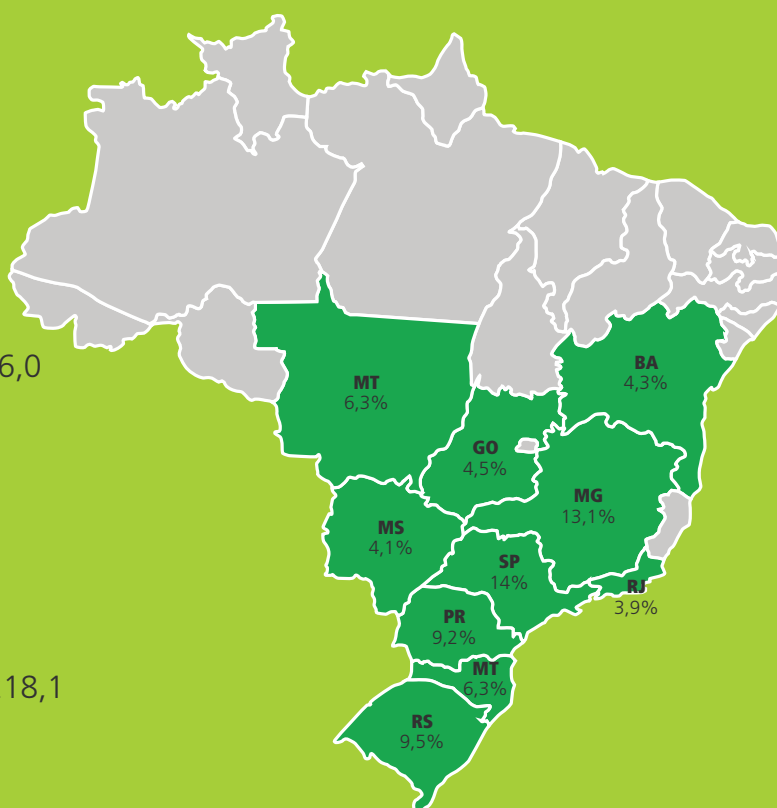
Já o regime de GD II aplica-se às conexões solicitadas a partir de 8 de janeiro de 2023 que não se enquadram nos demais critérios de GD I e III ou GD III. Esses agentes deverão seguir com o pagamento progressivo dos percentuais da TUSD Fio B, tendo sido iniciada a progressão em 2023 com 15% e terminando com 90% em 2028. Já a partir de 2029, passa-se a aplicar a nova regra tarifária a ser editada pela ANEEL.

Todo o arcabouço relativo à MMGD que evoluiu ao longo dos anos foi responsável pelo crescimento da modalidade no Brasil até se chegar ao quadro atual, conforme Figura 2.

Figura 2 – Ranking estadual da MMGD (agosto/2024)

Ranking Estadual (MW)

- 01 **São Paulo** 4.215,0
- 02 **Rio de Janeiro** 3.924,6
- 03 **Rio Grande do Sul** 2.846,0
- 04 **Paraná** 2.759,1
- 05 **Mato Grosso** 1.899,2
- 06 **Santa Catarina** 1.422,0
- 07 **Goiás** 1.362,0
- 08 **Bahia** 1.292,9
- 09 **Mato Grosso do Sul** 1.218,1
- 10 **Rio de Janeiro** 1.167,8





+ de 2,8 milhões

Projetos instalados



+ 30 GW

Potência instalada total

Por fim, a partir de dados oficiais da ANEEL, destaca-se que, em setembro de 2024, atingiu-se a marca de mais de 2,9 milhões de projetos e uma potência instalada total de mais de 32 GW. Além disso, a MMGD marca presença em 5.554 municípios do país, sendo os projetos existentes majoritariamente a partir da fonte solar fotovoltaica.

Devido às evoluções recentes do modelo de MMGD, as modificações nos incentivos e nos regimes tarifários aplicáveis, essa modalidade de geração de energia, voltada ao autoconsumo e ao compartilhamento da energia entre diversos integrantes das estruturas de geração compartilhada (consórcios, cooperativas e associações), a MMGD experimentou crescimento exponencial.

A modalidade se tornou a que mais cresce no Brasil, capitaneando a expansão da fonte solar fotovoltaica, por exemplo. Diante disso, uma série de desafios relacionados ao tema têm despontado entre os agentes interessados e muitas questões ainda terão que ser enfrentadas pelo regulador.

Autoprodução

Adentrando ao campo da autoprodução de energia, é importante dizer que esse regime não é novidade no panorama normativo das políticas setoriais, porém vem recebendo destaque nos últimos anos. O autoprodutor é pessoa jurídica (individualmente ou via consórcio) autorizada a produzir energia destinada ao seu uso exclusivo (podendo vender excedentes a terceiros).

A autoprodução existe desde 1996 e tem aumentado sua relevância no mercado brasileiro, contribuindo significativamente para a diversificação das fontes de energia e para a transição energética, uma vez que os agentes interessados vêm adotando, predominantemente, a autoprodução a partir de fontes renováveis.

Em regra, incide uma série de encargos setoriais sobre a compra de energia elétrica por meio do Sistema Interligado Nacional, tais como:

- Conta de Desenvolvimento Energético (CDE);
- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA);
- Encargo de Serviços de Sistema (ESS);
- Encargo de Energia de Reserva (EER).

Sob o regime de autoprodução, pode-se usufruir da isenção de uma parcela desses encargos, pois a energia gerada para consumo próprio do autoprodutor não está sujeita a determinados encargos.

Em linhas gerais, a energia destinada ao consumo próprio do autoprodutor não está sujeita aos seguintes encargos setoriais:

- **Conta de Desenvolvimento Energético (CDE):** aplicável com base no art. 74 do Decreto nº 5.163/2004, exclusivamente na parcela de energia destinada ao consumo próprio. A CDE incorporou o encargo à Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis dos Sistemas Isolados (CCC-ISOL).
- **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA):** aplicável com base no art. 13 do Decreto nº 5.025/2004, uma vez que deve ser pago por agentes que comercializam com consumidores finais, de forma que tais encargos não seriam aplicados a parcela da energia alocada para consumo próprio.
- **Encargo de Energia de Reserva (EER):** aplicável com base no art. 2º, inciso X da REN nº 337/2008. Isso porque, usuários de energia de reserva incluem os autoprodutores apenas na “parcela de energia adquirida”. Por esse critério (energia

adquirida), esses encargos incidiriam sobre a parcela da energia eventualmente adquirida pelo autoprodutor junto a terceiros, e não incidiriam sobre a geração própria do autoprodutor.

- **Encargo de Serviços de Sistema (ESS):** aplicável com base no art. 59, parágrafo único, do Decreto nº 5.163/2004, uma vez que o autoprodutor é equiparado ao consumidor mas apenas na parcela de seu consumo líquido no Sistema Interligado Nacional.

Importante notar que a isenção dos encargos setoriais incide sobre a parcela de energia elétrica decorrente de geração própria que for consumida pelo autoprodutor e não na parcela excedente comercializada com terceiros.

Portanto, caso o autoprodutor tenha que adquirir energia no Ambiente de Contratação Livre ou no Mercado de Curto Prazo para garantir e complementar o seu consumo ou comercializar excedente de energia, a isenção de encargos não se estenderá à parcela de energia adquirida/comercializada pelo autoprodutor.

Para obtenção dos incentivos associados ao regime de autoprodução, o interessado pode optar por adotar uma das estruturas oferecidas no mercado, notadamente:

- Equiparação à autoprodução, em que o autoprodutor é titular de participação societária em Sociedade de Propósito Específico (SPE) que é titular da autorização de autoprodução; ou
- Arrendamento da usina, na qual o autoprodutor (por meio de aquisição ou arrendamento da planta) é titular de autorização de autoprodução e gera energia elétrica para o seu consumo próprio. Essa estrutura pode ainda ser apresentada por Arrendamento Simples ou Arrendamento por Consórcio.

No que diz respeito à autoprodução por equiparação, sua autorização legal é prevista no art. 26 da Lei nº 11.488/2007. Essa modalidade surgiu da necessidade de se viabilizar estruturas de financiamento para os projetos de autoprodução (*project finance*), com a separação entre risco e retorno dos projetos, e atividades centrais dos consumidores.

O veículo para viabilização dessa estrutura depende da existência de uma SPE, que seja

titular de autorização da ANEEL para atuar como autoprodutor ou produtor independente. A SPE poderá vender energia para seus acionistas, sendo que o consumo de energia não estará sujeito aos seguintes encargos: CDE, PROINFA e CCC-Isol (isenção conforme a Lei nº 11.488/2007); e parcelas do EER e ESS, atualmente há a isenção do recolhimento do ESS-SE e do EER no âmbito de estruturas de autoprodução por equiparação.

Em termos de instrumentos contratuais, são necessários para a implementação da autoprodução por equiparação:

- (A) Contrato de Opção de Compra (COA);
- (B) Contrato de Compra e Venda de Ações, se necessário (SPA);
- (C) Acordo de Acionistas (AA); e
- (D) Contrato de Compra e Venda de Energia Elétrica (PPA).

Os contratos de (A) a (C) devem ser celebrados entre o desenvolvedor do projeto e o autoprodutor equiparado, enquanto o contrato (D) é celebrado entre o autoprodutor e a SPE à qual ele deve integrar para auferir os benefícios em comento. O conteúdo de cada contrato, e a efetiva necessidade de sua celebração, dependerão das condições comerciais a serem estabelecidas pelas partes.

Já na estrutura de autoprodução por arrendamento simples, costuma-se celebrar contratos de arrendamento da central geradora, cessão de imóvel e operação e manutenção (O&M) entre o autoprodutor e o proprietário do empreendimento.



Por fim, a estrutura de autoprodução por arrendamento em consórcio compreende espécies contratuais semelhantes à simples, porém o autoprodutor celebra também um contrato de consórcio com o desenvolvedor do projeto, de modo que possa consumir energia (e auferir os respectivos benefícios) na proporção de sua participação no consórcio.

Devendo ser observadas uma série de peculiaridades jurídicas e negociais em cada distinta estrutura tais como, impactos na outorga do empreendimento, situações de inadimplência, alocação de riscos e regras de governança corporativa, esses são os principais aspectos das estruturas de autoprodução e os benefícios que podem ser auferidos pelo agente como forma incentivo à produção de energia para consumo próprio (usualmente a partir de fontes renováveis).

Incentivos à transição energética no setor de combustíveis

Para o garantir o desenvolvimento do setor de hidrogênio, duas leis entraram em vigor em 2024, são elas: Lei nº 14.948/2024 e Lei nº 14.990/2024. Importante salientar que a regulação do hidrogênio visa promover as formas com baixa emissão de carbono de produção deste produto.

Há décadas utilizado em atividades industriais, o hidrogênio possui múltiplas formas de produção, sendo a principal a sua obtenção a partir da reforma a vapor do gás natural (hidrogênio cinza) ou gaseificação do carvão mineral. Contudo, é o hidrogênio obtido por rotas tecnologias com baixas emissões de gases causadores do efeito estufa, como hidrogênio verde, azul e musgo que são objeto de incentivo governamental.

A Lei nº 14.948/2024, que foi sancionada em 2 de agosto de 2024, estabelece um marco regulatório para a produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono, criando mecanismos de incentivo ao setor. Um dos principais incentivos é o Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Rehidro).

O Rehidro permite que empresas beneficiárias usufruam da suspensão de PIS/Cofins e PIS/Cofins-Importação nas aquisições locais e importações de máquinas, aparelhos, instrumentos e equipamentos novos, além de materiais de construção e serviços para

utilização ou incorporação nas obras de infraestrutura associadas a projetos de hidrogênio. Os incentivos têm vigência de cinco anos, a partir de 1º de janeiro de 2025.

Além do Rehidro, a Lei nº 14.948/2024 previa a criação do Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC), que foi vetado na sanção presidencial. Embora o artigo que definia os créditos fiscais sobre a Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL) tenha sido removido por engano durante a tramitação, foi acordado entre o Congresso e o Executivo que o programa seria normatizado por meio de um projeto de lei separado (PL 3.027/2024), que se tornou a Lei nº 14.990/2024.

Por fim, a Lei nº 14.948/2024 estabeleceu como incentivo, ainda, que empresas instaladas em Zonas de Processamento de Exportação (ZPEs) poderão usufruir dos benefícios do Rehidro. Empresas que geram energia elétrica renovável ou produzem biocombustíveis para a produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono também são elegíveis.

A habilitação ao Rehidro exigirá a utilização de um percentual mínimo de conteúdo local no processo produtivo, investimentos mínimos em pesquisa, desenvolvimento e inovação, e a habilitação para a produção de hidrogênio de baixo carbono. Esses incentivos visam fomentar a produção sustentável de hidrogênio, promovendo a transição energética e a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Já a Lei nº 14.990/2024, que foi sancionada em 30 de setembro de 2024, institui o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC). Este programa visa conceder créditos fiscais para a comercialização de hidrogênio de baixa emissão de carbono entre 2028 e 2032. Os recursos serão distribuídos por meio de um processo competitivo a ser regulamentado.

A lei também altera a Lei nº 14.948/2024 para incluir nas competências do Ministério de Minas e Energia (MME) a elaboração de um plano de trabalho destinado à implementação e monitoramento dos instrumentos da Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono.

Os créditos fiscais previstos no PHBC serão concedidos no período de 1º de janeiro de 2028 a 31 de dezembro de 2032, com valores máximos anuais estipulados. Por exemplo, em 2028, o valor máximo será de R\$ 1,7 bilhão, aumentando progressivamente até R\$ 5 bilhões em 2032.

Esses créditos poderão ser utilizados para compensação com débitos próprios relativos a tributos administrados pela Receita Federal ou para ressarcimento em dinheiro. O valor do crédito corresponderá a até 100% da diferença entre o preço estimado do hidrogênio de baixa emissão de carbono e o preço de bens substitutos.

Para serem elegíveis aos créditos fiscais, os projetos devem atender a critérios mínimos, como serem beneficiários do Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Rehidro) ou adquirirem hidrogênio de baixa emissão de carbono de empresas beneficiárias do Rehidro.

Além disso, os projetos devem atender a pelo menos um dos seguintes requisitos: contribuir para o desenvolvimento regional, medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, estimular o desenvolvimento e a difusão tecnológica, ou contribuir para a diversificação do parque industrial brasileiro. A concessão dos benefícios será feita por meio de um processo competitivo, priorizando projetos com menor intensidade de emissões de gases de efeito estufa e maior potencial de adensamento da cadeia de valor nacional.

A despeito do largo avanço na regulamentação do hidrogênio e estabelecimento de incentivos, tais temas ainda estão pendentes de regulamentação pelo MME e pela ANP.

Já na seara dos combustíveis sintéticos (denominados e-combustíveis) e biocombustíveis, a Lei nº 14.993/2024 foi sancionada em 8 de outubro de 2024, como resultado de longo debate em torno do Projeto de Lei nº 528/2020 (conhecido como Projeto de Lei do Combustível do Futuro).



Este projeto visa promover a mobilidade sustentável de baixo carbono, a descarbonização do setor de combustíveis e a criação de um marco legal para a captura e armazenamento geológico de dióxido de carbono ("*carbon capture and storage*" – CCS).

O PL aborda quatro eixos principais: descarbonização dos setores de transportes e gás natural, alteração dos limites de mistura de etanol e biodiesel, regulamentação das atividades de captura e armazenamento de carbono, e integração de iniciativas de mobilidade sustentável.

A Lei nº 14.993/2024 estabelece uma série de incentivos para promover a descarbonização e a sustentabilidade no setor de combustíveis no Brasil. O Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), visa incentivar a pesquisa, produção, comercialização e uso de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF).

A partir de 2027, operadores aéreos deverão reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em operações domésticas utilizando SAF, com a possibilidade de cumprir a meta por meios alternativos. Este programa busca não apenas reduzir as emissões no setor aéreo, mas também fomentar a inovação e o desenvolvimento tecnológico na produção de combustíveis sustentáveis.

Assim, o incentivo para o SAF é indireto, pois as companhias aéreas precisarão atender as metas de emissões, e para isso precisarão adquirir tal combustível, na forma da regulamentação que será estabelecida pelo CNPE, ANP e ANAC.

Outro incentivo da Lei nº 14.993/2024 é o Programa Nacional de *Diesel* Verde (PNDV), que tem como objetivo incentivar a pesquisa, produção, comercialização e uso energético do *diesel* verde na matriz energética brasileira. O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) estabelecerá anualmente a participação volumétrica mínima obrigatória de *diesel* verde em relação ao *diesel* comercializado ao consumidor final, com um limite máximo de 3%.

A ANP definirá o percentual de adição obrigatória de *diesel* verde ao *diesel* comercializado, garantindo a participação mínima obrigatória. Este programa visa promover a substituição gradual do *diesel* fóssil por alternativas mais sustentáveis, contribuindo

para a redução das emissões de GEE e ao mesmo tempo incentivando a produção de *diesel* verde.

Por último, a Lei nº 14.993/2024 também incentiva a descarbonização do setor de gás natural através do Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano (PNDGN). Este programa visa incentivar a pesquisa, produção, comercialização e uso do biometano e biogás na matriz energética brasileira para descarbonizar o setor de gás natural.

As metas de redução de emissões entrarão em vigor a partir de 2026, com um valor inicial de 1% e um limite máximo de 10% de redução das emissões. O cumprimento das metas poderá ser comprovado pela compra ou utilização de biometano ou pelo registro anual da aquisição do Certificado de Garantia de Origem de Biometano (CJOB). Este incentivo busca integrar o biometano como uma alternativa viável e sustentável ao gás natural, promovendo a transição energética e a redução das emissões de carbono.

Portanto, os novos diplomas legais não apenas trazem mais segurança jurídica para o desenvolvimento das atividades da indústria de hidrogênio e combustíveis renováveis, mas também propõem incentivos econômicos para seu crescimento.

A ANP foi designada, em ambos os casos, como a entidade competente para a regulação e monitoramento desses mercados, e terá o desafio de promovê-los nos próximos anos. Caso a agência obtenha êxito nesse desafio, o Brasil poderá consolidar sua posição como líder no setor de combustíveis renováveis.

Considerações finais

Pelo apresentado nessa investigação, deve-se reconhecer que há um futuro promissor com muitas medidas já adotadas e ainda a serem implementadas, que podem gerar resultados positivos para o setor energético no Brasil. Um futuro mais verde, limpo e sustentável veio para ficar definitivamente nos mais diversos setores econômicos. Para se desenvolver com plenitude, os agentes anseiam por políticas públicas de Estado estáveis e perenes, acompanhadas dos necessários incentivos.

Observa-se, enfim, que vem se estabelecendo no país um vasto arcabouço normativo tendo em vista a meta de descarbonização da economia. Esse desafio global, especialmente para o setor de geração de energia elétrica e para os demais setores considerados “*hard-to-abate*” (como aqueles altamente intensivos em consumo de combustíveis) deve ser endereçado pelas autoridades públicas com afinco.

Os novos diplomas legais analisados aportaram mais segurança jurídica para o desenvolvimento das atividades da indústria de hidrogênio e combustíveis renováveis, mas ainda há um longo caminho a ser percorrido. Será necessária a devida regulamentação e também a plena aplicação dos incentivos econômicos para o crescimento de indústrias mais sustentáveis.

De todo modo, a transição energética, para se materializar por completo, demanda e continuará demandando vultosos investimentos de agentes privados sob os incentivos adequados do poder público.

Tanto as políticas e regimes incentivados voltados à difusão das fontes renováveis na oferta de eletricidade, como o PROINFA, o desconto na tarifa-fio, a MMGD e a autoprodução, como as demais medidas voltadas ao campo dos combustíveis devem contribuir para uma efetiva transição energética no país. A atuação da ANP, ao lado da ANEEL, será determinante para a regulação e monitoramento dos mercados que demandam sua atenção. Obtendo êxito nessa empreitada, o país tende a se consolidar como líder em fontes renováveis, no setor de hidrogênio de baixo carbono e demais combustíveis renováveis.



Referências

BERMANN, Célio (org.). *As novas energias no Brasil. Dilemas da inclusão social e programas de governo*. Capítulo – Proinfa: da proposta à realidade. Rio de Janeiro: FASE, 2007.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. *Relatório Final do Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – ProGD*. Brasília: MME, fev. 2019.

BRIGATTI, Fernanda. *Brasil está muito na frente para receber investimentos da transição energética, diz CEO da WEG*. Folha de S. Paulo. Setembro, 2024.

CRUZ, Gabriela Mota da, et al. *Hidrogênio Verde no Brasil: Estamos Prontos para Liderar a Revolução Energética?*. INSPER, setembro, 2024.

DANTE, Pedro Henrique; EDELSTEIN, Renato. Aspectos jurídicos relevantes sobre Geração Distribuída. Percepção teórica e prática: riscos envolvidos e possibilidade de alteração da norma com impacto em projetos existentes. *Revista do Direito da Energia – Instituto Brasileiro de Estudos do Direito da Energia – IBDE*, dezembro 2017.

EPE. *Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio*. Rio de Janeiro: EPE, 2021.

IEA, International Energy Agency. *Global Hydrogen Review 2021*. Paris: IEA, 2021.

JUSTEN NETO, Marçal; COSTA, Camila Batista Rodrigues. A revisão da regulação da geração distribuída de pequeno porte. In. JUSTEN FILHO, Marçal; SILVA, Marco Aurélio de Barcelos (Coord.). *Direito da infraestrutura: estudos de temas relevantes*. 1. Ed. – Belo Horizonte: Fórum, 2019.

GRIMONI, José Aquiles Baesso; BARRETO, Gustavo de Andrade. *Geração distribuída e redes inteligentes*. In. MOREIRA, José Roberto (org.). *Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética*. 2 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

GUIMARÃES, Lucas Noura. Challenges to the promotion of distributed energy resources in Latin America: a Brazilian case study. In. SIOSHANSI, Fereidoon. *Consumer, prosumer, prosumers – How service innovations will disrupt the utility business model*. Elsevier-Academic Press, 2019.

ROCKMANN, Roberto. *Rede de transmissão precisa ser ampliada*. Valor Econômico. Setembro, 2024.

MATTOS FILHO

O Mattos Filho é um escritório de alta performance que antecipa tendências e oferece soluções jurídicas inovadoras para transformar desafios jurídicos em oportunidades. Com uma estrutura full-service de excelência e presença no Brasil e no exterior, o escritório garante apoio integral a seus clientes e parceiros, impulsionando a geração de negócios e a tomada de decisões estratégicas.

The background is a solid light green color. There are two large, thick, dark green curved shapes. One is in the top right corner, curving from the top edge towards the right. The other is in the bottom left corner, curving from the bottom edge towards the left.

Encerramento e considerações finais

A transição energética não é um evento isolado nem um objetivo distante: trata-se de um processo contínuo, multidimensional e inevitável, que redefine a forma como produzimos, consumimos e organizamos a energia. Ao longo deste e-book, foi possível observar como diferentes fontes renováveis, como a energia solar, eólica, biomassa, biogás, biometano e o hidrogênio verde, assumem papéis complementares na construção de uma matriz energética mais limpa, resiliente e diversificada.

O Brasil ocupa uma posição estratégica nesse cenário. Sua abundância de recursos naturais, aliada a um arcabouço regulatório em evolução, políticas públicas de incentivo e crescente maturidade tecnológica, cria condições favoráveis para liderar soluções energéticas sustentáveis em escala global. Mais do que ampliar a oferta de energia renovável, o desafio está em integrá-la de forma eficiente ao sistema elétrico, garantir segurança energética, atrair investimentos e promover inovação, sempre com atenção aos impactos sociais, econômicos e ambientais.

Nesse contexto, a transição energética se revela também como uma agenda de desenvolvimento. Ela impulsiona novos mercados, gera empregos, estimula a economia circular, fortalece a gestão de resíduos e contribui diretamente para o cumprimento dos compromissos climáticos assumidos pelo país. Ao mesmo tempo, evidencia a importância da cooperação entre setor público, iniciativa privada, academia e sociedade civil para superar desafios estruturais e acelerar a implementação de soluções de baixo carbono.

Mais do que apontar caminhos, este e-book convida à reflexão e à ação. A transição energética já está em curso e seu sucesso dependerá da capacidade coletiva de transformar potencial em realidade, planejamento em execução e inovação em impacto positivo duradouro. O futuro da energia já começou e ele será, necessariamente, mais limpo, mais justo e mais inteligente.

Alejandro Gómez
Diretor Executivo
Cámara Oficial Española de Comercio no Brasil



Av. Eng.º Luís Carlos Berrini, 1681 – 14º andar – CEP: 04571-011
São Paulo – SP – Brasil

Telefone: +55 (11) 5508-5959

E-mail: camaraespanhola@camaraespanhola.org.br

[Clique aqui para se associar](#)

