



# Revista O Setor Elétrico

## Os Recursos Energéticos Distribuídos na Modernização do Setor Elétrico Brasileiro<sup>1</sup>

Nivalde de Castro<sup>2</sup>

Leonardo Gonçalves<sup>3</sup>

### Introdução

Historicamente, as mudanças estruturais nas matrizes energéticas ocorreram com os objetivos de garantir a segurança de fornecimento destes insumos estratégicos e impulsionar as vantagens competitivas dos países no cenário global, utilizando como elemento dinâmico as inovações tecnológicas. Um exemplo dessa tendência histórica ocorreu com os choques do petróleo a partir da década de 1970.

Na época, a disparada do preço do petróleo, provocada pelo embargo dos países-membros da OPEP, impactou de forma significativa os países importadores de petróleo, afetando, em especial, a inflação. A partir dessa crise foram adotadas medidas direcionadas, principalmente, para investimentos em bens energéticos substitutos, com destaque para a energia nuclear, o gás natural e, no Brasil, o desenvolvendo da cadeia produtiva do etanol, além de inovações tecnológicas em prol da eficiência energética para reduzir o consumo de energia.

Em meados dos anos de 1980, um novo espectro de crise passa a ganhar a atenção mundial, uma vez que estudos científicos associavam a utilização intensiva de energia de fontes fósseis com mudanças climáticas que aumentavam a temperatura média mundial. Assim, foi se consolidando a percepção de que os

---

<sup>1</sup> Artigo publicado na Revista O Setor Elétrico. Edição Maio-Junho de 2024, n. 203, p. 12-18. Disponível em: [https://www.osetoletrico.com.br/wp-content/uploads/2024/05/OSE\\_203\\_Final\\_SITE-1.pdf](https://www.osetoletrico.com.br/wp-content/uploads/2024/05/OSE_203_Final_SITE-1.pdf).

<sup>2</sup> Professor do Instituto de Economia da UFRJ e coordenador do GESEL-UFRJ.

<sup>3</sup> Pesquisador Associado do GESEL-UFRJ.

padrões de produção e consumo de energia eram insustentáveis do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Deste contexto de risco climático, passam a ser realizadas conferências e firmados acordos internacionais, com a formulação de políticas em prol de um processo de transição energética. Diferentemente das transições anteriores – lenha, carvão, petróleo e substitutos –, o objetivo central da atual transição energética não possui um caráter econômico, mas visa neutralizar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e limitar o aquecimento do planeta a 1,5°C, através da substituição dos combustíveis fósseis das matrizes energéticas por fontes renováveis, com predominância das energias solar e eólica. Em suma, a prioridade da política energética passa a ser a descarbonização dos processos produtivos e dos padrões de consumo, sendo a indústria automobilística um exemplo paradigmático, ao sair dos veículos à combustão para os elétricos.

O imenso e complexo compromisso de descarbonização, ímpar na história, por sua vez, está ocorrendo em um momento em que os sistemas de eletricidade, notadamente no segmento de distribuição de energia elétrica, enfrentam uma série de desafios, que vão desde o envelhecimento da infraestrutura física, passando pelo crescimento contínuo da demanda por energia, até a intermitência das fontes renováveis. Diante deste inédito e imprevisível cenário, definiu-se um novo conceito, os Recursos Energéticos Distribuídos (REDs), para melhor expressar os desafios do processo indispensável de modernização das redes para lidar com os desafios impostos pela transição energética.

O perfil e as características dos REDs estão associados, entre outros, com:

- i. A difusão acelerada das fontes renováveis intermitentes;
- ii. A descentralização da geração de energia elétrica;
- iii. O armazenamento de energia; e
- iv. A difusão massiva e maciça das tecnologias de informação e comunicação (TICs).

Destaca-se que esses vetores irão elevar a capacidade de operação e flexibilidade do sistema elétrico, assim como viabilizar e exigir uma participação mais dinâmica dos agentes econômicos em termos de volume e qualidade dos investimentos.

Nestes termos, pode-se antever que os REDs, além do exposto, serão capazes de promover tanto o empoderamento do consumidor quanto novos modelos de negócio para as empresas do setor elétrico, passando pelo fortalecimento da resiliência e confiabilidade dos sistemas de eletricidade, além dos necessários benefícios ambientais para a preservação do planeta.

Em síntese prévia, a importância deste conceito fica claramente qualificada como estratégica para um maior e melhor entendimento do porvir da transição energética.

Considerando a dimensão, a amplitude e a profundidade dos desafios e impactos sobre a economia e o setor elétrico como um todo, este capítulo da Série Transição Energética e ESG, fruto da parceria que o GESEL-UFRJ firmou com a Revista Setor Elétrico, irá analisar a importância dos REDs para a modernização do setor elétrico e o seu papel na promoção de inovações tecnológicas intra e intersetoriais.

O quarto capítulo da série está estruturado em três seções, além desta introdução e das conclusões. A primeira seção tem foco no contexto do processo de transformação estrutural observado atualmente no setor elétrico. A segunda seção examina os vetores que fundamentam e orientam o processo de transição energética, notadamente a descarbonização, a descentralização e a digitalização. Por fim, a terceira seção será dedicada à análise dos REDs enquanto indutores de inovações tecnológicas.

## **I. A Mudança de Paradigma no Contexto da Transição Energética**

Tradicionalmente, o paradigma tecnológico tradicional do setor elétrico pode ser enquadrado em um retrato bem definido:

- i. Geração centralizada distante dos grandes centros de consumo;
- ii. Transporte em linhas de transmissão de alta tensão; e
- iii. Distribuição da energia elétrica às unidades consumidoras em redes de média/baixa tensão.

É um modelo com fluxos unidirecionais de energia e comunicação, no qual a “geração segue a carga”, com aspectos e possibilidades técnicas bem definidas de planejamento, operação, regulação e investimentos.

Derivado diretamente do processo de transição energética, a difusão acelerada das inovações tecnológicas nos segmentos de geração, transmissão e distribuição estão alterando drasticamente esse cenário. As fontes renováveis (solar e eólica) e as tecnologias e equipamentos digitais, em especial, vem impulsionando a descentralização da geração de energia, aprimorando os mecanismos de medição e controle do sistema e viabilizando um consumo flexível por parte dos consumidores.

Neste contexto, se inserem os REDs, definidos como tecnologias de geração ou armazenamento de energia elétrica, localizadas dentro dos limites de uma área

territorial determinada, cuja responsabilidade técnica é atribuída às concessionárias de distribuição de energia elétrica. Os REDs mais usuais são:

- i. Micro e minigeração geração distribuída;
- ii. Armazenamento de energia;
- iii. Veículos elétricos e a infraestrutura de recarga;
- iv. Resposta da demanda; e
- v. Redes inteligentes.

O elemento diferencial dos REDs é serem capazes de estimular, desenvolver e impor componentes de inovação tecnológica tanto do lado da demanda quanto do lado da oferta, servindo de complemento ou substituição ao sistema de geração centralizado. Além disso, são tecnologias que ajudam a diminuir a dependência dos combustíveis fósseis e, assim, a reduzir as emissões de GEE. Ademais, em relação aos investimentos associados, os REDs abrem margens expressivas para novos modelos de negócio associados a serviços para diferentes tipos de consumidores.

Em relação padrão de consumo, os REDs viabilizam uma verdadeira transformação do papel do consumidor em cliente, tirando-o de uma posição passiva e transformando-o em agente participativo das relações e dos fluxos de oferta e consumo de energia. O novo papel do consumidor é exercido através da geração própria de energia e comercialização do excedente produzido (os chamados prossumidores) ou, ainda, do poder de escolha com relação ao fornecedor de energia, processo este que está crescendo de maneira exponencial no Brasil com a abertura do mercado livre, inclusive na modalidade de geração distribuída por assinatura. Observa-se, assim, um novo padrão de consumo nas redes elétricas, cada vez mais descentralizado, digitalizado e com foco nas necessidades do cliente final.

## **II. Os 3 D's da Transição Energética**

De forma geral, o processo de metamorfose do setor elétrico associado à transição energética analisado anteriormente pode ser sintetizado através de três vetores, os chamados 3 D's: a descarbonização, a descentralização e a digitalização. A descarbonização visa a conversão das matrizes energéticas baseadas em combustíveis fósseis para fontes renováveis, uma vez que o setor de geração de energia é o maior emissor de GEE do planeta.

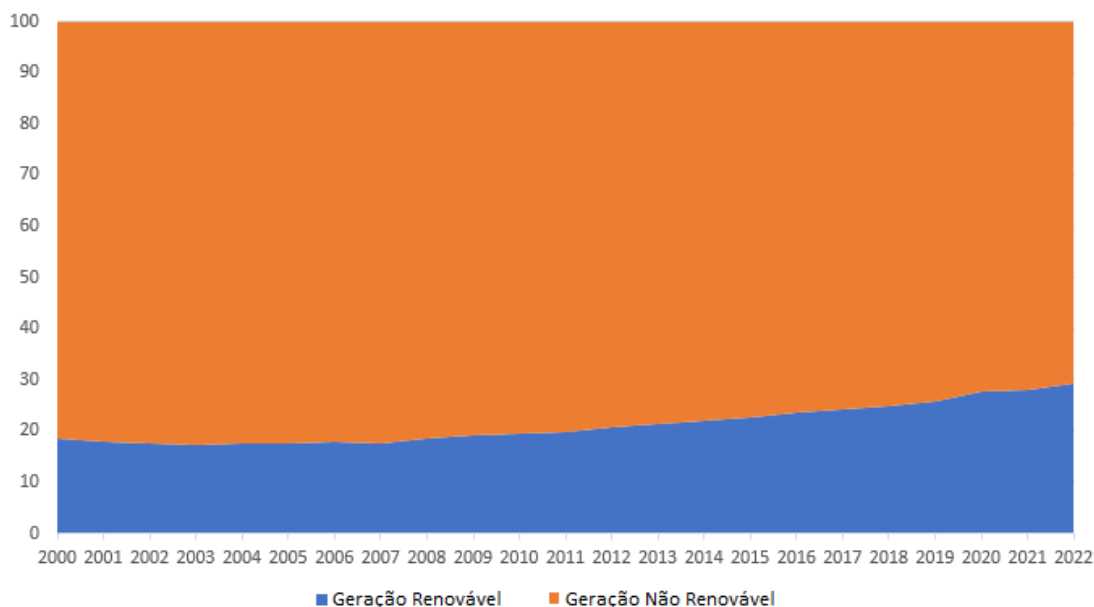
Ademais, a descarbonização recebe um destaque central na agenda estratégica dos países, pois representa uma oportunidade de reduzir a dependência de importação de combustíveis externos. Portanto, nessa dinâmica, se abrem

possibilidades para estratégias e planos/programas de investimentos nacionais que ajudam o crescimento e desenvolvimento econômico.

Neste processo específico, destacam-se os investimentos nas cadeias produtivas e ampliação da capacidade de geração das fontes de energia solar e eólica, recursos renováveis genuinamente nacionais, o que contribui, simultaneamente, ao aumento da segurança energética e à redução das emissões de poluentes.

Nessa conjuntura, o Brasil se destaca positivamente em relação ao cenário internacional. No que diz respeito à geração de energia elétrica, a matriz elétrica mundial apresenta uma baixa participação de fontes renováveis (cerca de 29%), como ilustrado no Gráfico 1, o que evidencia o tamanho do desafio da descarbonização no âmbito do setor elétrico para a grande maioria dos países.

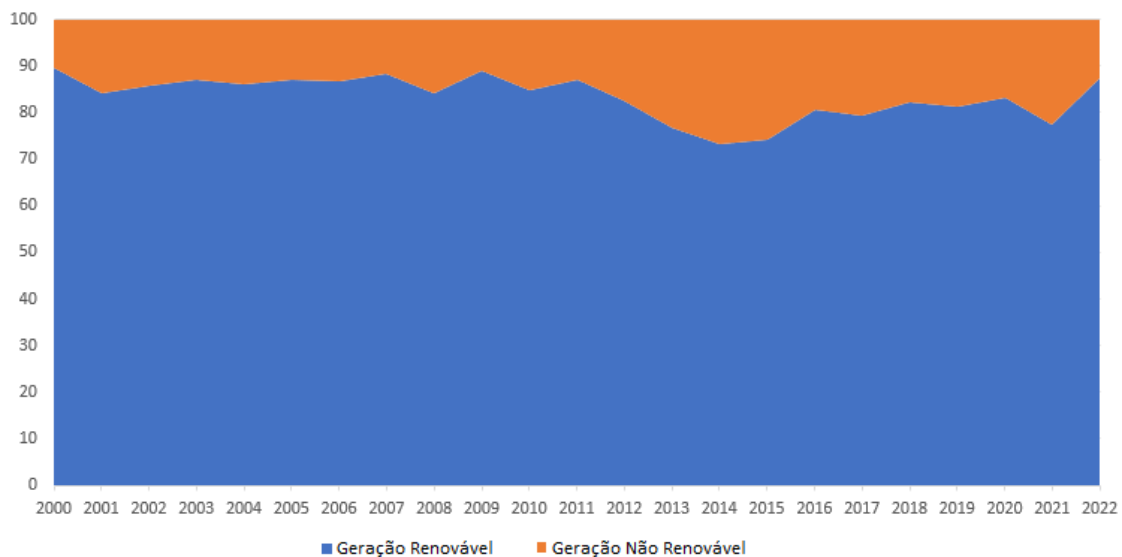
Gráfico 1: Evolução da geração renovável e não renovável de energia elétrica mundial: 2000-2022.  
(em %)



Fonte: Elaboração própria, a partir de *Energy Institute*.

Por outro lado, o Brasil apresenta uma das matrizes elétricas com maior participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica do planeta, apresentada no Gráfico 2, cujo percentual de renovabilidade alcançou cerca de 87% no ano de 2022.

Gráfico 2: Evolução da geração renovável e não renovável de energia elétrica do Brasil: 2000-2022.  
(em %)



Fonte: Elaboração própria, a partir de *Energy Institute*.

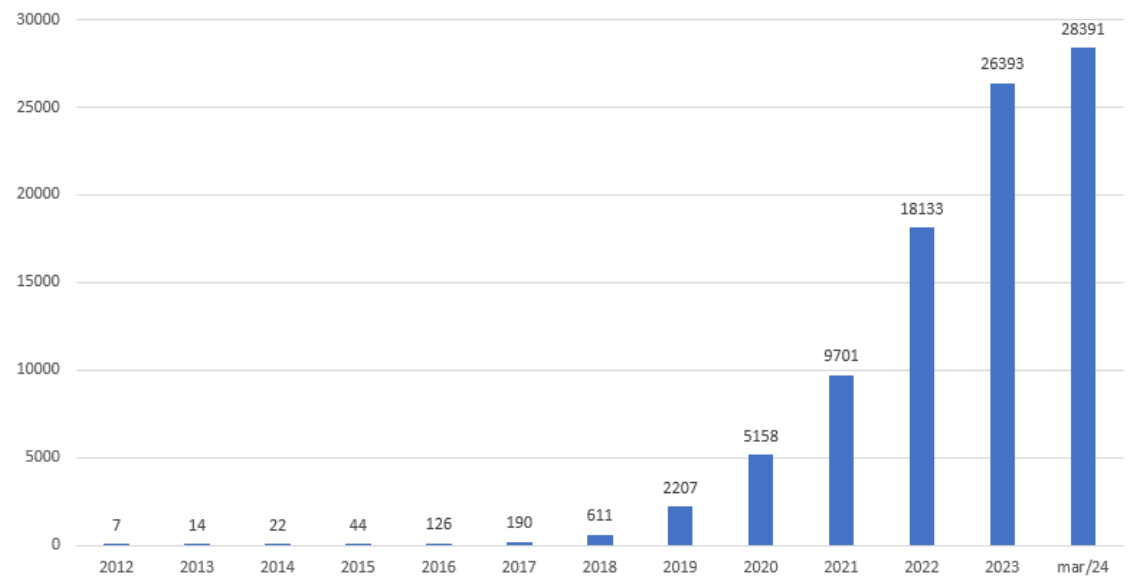
Esses dados atestam a vocação inquestionável do Brasil para geração de energia renovável. A título de destaque, apenas o estado do Ceará possui um potencial de geração solar de 1,363 TWh/ano, o que corresponde a quase o dobro da oferta interna de eletricidade do Brasil em 2022.

Deste modo, observa-se uma possibilidade concreta de impulsionar a inserção das fontes renováveis, com o objetivo de elevar o grau de sustentabilidade do país, ao mesmo tempo em que é imprescindível fortalecer as cadeias produtivas nacionais de renováveis, fazendo do processo de descarbonização um catalisador do desenvolvimento tecnológico e econômico nacional. Contudo, ainda falta uma percepção clara e focada do Governo Federal, a ser materializada por meio de uma política pública estratégica à qual as diferentes instâncias e organismos devem estar subordinadas. A única e positiva exceção que merece ser destacada é o BNDES.

O pilar da descentralização, por sua vez, refere-se à alteração do modelo de geração de energia, tradicionalmente centralizado, visando a distribuição das fontes de energia em uma rede mais ampla. A descentralização permite que as comunidades gerem parte ou toda a sua própria energia, reduzindo a sua dependência de fontes de energia não renovável e mitigando os riscos associados a falhas em grandes infraestruturas centralizadas. Além disso, a descentralização irá estimular e envolver, gradativamente, o uso de tecnologias de armazenamento de energia, como baterias, o que permitirá que as comunidades armazenem o excesso de energia gerada durante os períodos de pico para consumo posterior ou o injetem de volta na rede com uma compensação financeira.

No Brasil, o avanço da descentralização vem ocorrendo de forma acelerada através da difusão exponencial da micro e minigeração solar distribuída. Desde 2012, essa dinâmica modalidade de geração saltou de 7 MW de capacidade instalada no país para mais de 28 GW no 1º trimestre de 2024, como ilustra o Gráfico 3.

Gráfico 3: Evolução da capacidade instalada de geração solar distribuída no Brasil: 2012-2024.  
(em MW)



Fonte: Elaboração própria, a partir de ABSOLAR.

Vale destacar que esse crescimento significativo também vem produzindo externalidades extremamente positivas tanto para a economia quanto para a descarbonização. Estimativas da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) apontam que, desde 2012, a geração solar distribuída já mobilizou mais de R\$ 140 bilhões em investimentos e cerca de R\$ 42 bilhões em arrecadação para os cofres públicos, além de ter gerado mais de 860 mil empregos, espalhados pelas cinco regiões do país. No acumulado de 12 anos, a fonte também foi responsável por evitar a emissão de mais de 47 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera. No entanto, esse crescimento exponencial ainda ocorre através de subsídios, o que, hoje, não é mais necessário, pois os próprios números indicam claramente que esta indústria já atingiu a fase de maturidade. Por outro lado, o volume de subsídios associados ao crescimento exponencial tende a superar, em muito os benefícios associados, destacando-se aqui o impacto negativo sobre a modicidade tarifária do mercado cativo.

Aliado a micro e minigeração solar distribuída, o armazenamento de energia desempenha um papel fundamental na maximização dos benefícios da geração

descentralizada para os consumidores. Embora a geração distribuída seja altamente vantajosa em termos de sustentabilidade e resiliência, a natureza intermitente da fonte solar pode apresentar desafios para o fornecimento de energia contínua e confiável.

Neste sentido, as tecnologias de armazenamento permitem armazenar o excesso de energia produzida durante os períodos de alta geração para uso posterior, o que auxilia a garantir um fornecimento estável mesmo quando as condições de geração são variáveis. Destaca-se que as novas regras da Lei nº 14.300/2022, que instituem mudanças no sistema de compensação de energia elétrica, também tornarão mais vantajoso o uso dos sistemas de armazenamento, uma vez que a energia autoproduzida e armazenada não será passível de descontos.

Além disso, os sistemas de armazenamento podem servir como uma fonte de *backup* de energia em caso de falhas ou "apagões" na rede elétrica principal, elevando a confiabilidade, a resiliência e a autonomia no fornecimento de energia. Portanto, o armazenamento é um segmento tecnológico e econômico que ganhará importância e predominância nos investimentos, abrindo possibilidades consistentes para novos negócios nos próximos anos.

O terceiro e último vetor, da digitalização, diz respeito à integração de tecnologias digitais avançadas com objetivo de melhorar a eficiência, a confiabilidade e a sustentabilidade do sistema elétrico. Ao passo em que a descentralização amplia a inserção das fontes renováveis e a participação de novos agentes na gestão da rede, a digitalização, através de um volume cada vez maior de dados e equipamentos modernos, possibilita a tomada de respostas operacionais rápidas, o que é capaz de elevar o rendimento do sistema como um todo e viabiliza o surgimento de novos serviços que se encaixem nos padrões de consumo dos clientes.

Dentre as tecnologias que compõem o ecossistema digital do setor elétrico, destacam-se os medidores inteligentes, que são dispositivos que registram o consumo de energia em tempo real e facilitam a gestão e o controle mais precisos da demanda de cada unidade consumidora. A disseminação dos medidores inteligentes permite, por exemplo, que as *smart grids* utilizem tecnologias de comunicação e controle para melhorar a eficiência e a confiabilidade da distribuição de energia, possibilitando uma melhor integração de fontes renováveis e acomodando a geração distribuída de acordo com os requisitos operacionais da rede elétrica.

A digitalização também cumpre a importante função de elevar a produtividade em outros segmentos operacionais. Sensores e sistemas de monitoramento avançados, por exemplo, permitem o acompanhamento em tempo real do



desempenho de equipamentos e infraestrutura, o que possibilita a manutenção preditiva e a otimização do uso de recursos financeiros. No âmbito das tecnologias digitais da fronteira do conhecimento, como a inteligência artificial, os algoritmos de análise de dados são capazes de prever a demanda de energia e a geração de fontes renováveis, ajudando os operadores de rede a tomar decisões mais informadas sobre o planejamento e a operação do sistema.

### **III. Os REDs como Indutores da Inovação Tecnológica**

Diante do cenário disruptivo apresentado nas duas seções anteriores, percebe-se que a inserção dos REDs no contexto da transição energética e de seus principais vetores abriu um curso irreversível de uma verdadeira revolução tecnológica no setor elétrico, alterando os perfis de infraestrutura e fundamentos da operação dos sistemas. Mais do que isso, a difusão desses novos recursos tem o potencial de viabilizar um salto tecnológico tanto no âmbito da economia nacional quanto em segmentos específicos do setor, como é o caso da distribuição de energia, com grandes ganhos para o desenvolvimento econômico e social do país, através de novos investimentos, do aumento do emprego e da criação de novas cadeias produtivas.

Com relação ao primeiro ponto, a disseminação avançada dos REDs pode catalisar o investimento em inovações tecnológicas e a formação de diversas cadeias produtivas nacionais associadas a equipamentos de geração e armazenamento de energia limpa. No caso da geração distribuída, por exemplo, as perspectivas de crescimento acelerado das instalações solares apontam para o desenvolvimento de um enorme mercado consumidor, que hoje é atendido através do elevado volume de importações provenientes da China.

A fabricação de células e painéis fotovoltaicos, assim como de inversores - equipamentos que tem a função de converter a corrente contínua para corrente alternada, possibilitando o uso da energia elétrica gerada pelos sistemas solares -, se apresenta como uma oportunidade para a indústria brasileira de se posicionar na liderança da transição energética global e, ao avançar na maturação das tecnologias (com painéis fotovoltaicos mais eficientes, por exemplo), disputar o mercado interno nacional e os mercados consumidores do exterior.

De forma análoga, o armazenamento de energia distribuído pode ser um importante vetor para o desenvolvimento de uma cadeia produtiva e inovativa nacional. Assim como acontece com a geração distribuída, as etapas de processamento e fabricação das baterias são geograficamente concentradas na China. No entanto, a abundância de recursos minerais do Brasil e as perspectivas de redução gradual dos preços das baterias, em função dos ganhos de escala e

dos avanços tecnológicos, indicam uma promissora oportunidade para o desenvolvimento de tecnologias de armazenamento em solo brasileiro. Essas possibilidades permitem, inclusive, a integração entre as cadeias produtivas e comerciais no padrão observado em países desenvolvidos, como Alemanha e Itália, onde 70% das instalações de geração distribuída são comercializadas em conjunto com sistemas de armazenamento.

No caso dos veículos elétricos, as estratégias de eletrificação das montadoras já instaladas em território nacional e a chegada de grandes grupos chineses têm o potencial de requalificar a posição brasileira na indústria automotiva mundial. Deste modo, a fabricação dos modelos eletrificados no Brasil contribui para a eletrificação da frota nacional de veículos e para a transformação do país em um polo exportador, em especial para a América Latina.

Concomitante a isso, e de forma análoga à experiência da década de 1950, o ingresso das fabricantes estrangeiras e a produção dos veículos elétricos no Brasil podem mobilizar a estruturação de toda uma cadeia de autopeças, equipamentos, tecnologias digitais e baterias para o mercado da eletromobilidade, com o aproveitamento da expertise das companhias com longa trajetória de mercado e a exploração das vantagens competitivas do país neste segmento.

Para as empresas do setor elétrico, o crescimento do mercado da eletromobilidade também representa uma oportunidade para o desenvolvimento de novas tecnologias e oferta de novos serviços. A existência de uma infraestrutura de recarga dos veículos, por exemplo, constitui uma das principais demandas de potenciais proprietários, abrindo um nicho de mercado de eletropostos para as empresas tanto em locais públicos como em áreas privadas (residências, prédios comerciais, estacionamentos, etc.).

Com relação ao segmento de distribuição de energia elétrica, a difusão dos REDs implica em uma evolução do modelo tradicional, com as concessionárias passando a atuar como operadoras do sistema de distribuição (DSOs, na sigla em inglês) e não mais apenas como operadoras da rede de distribuição (DNOs, na sigla em inglês). Ou seja, caberá às DSOs operar e gerenciar o sistema de distribuição de um determinado território através da coordenação dos fluxos bidirecionais de energia das fontes renováveis e dos REDs conectados à rede elétrica.

Nota-se que a transição de DNO para DSO envolve uma série de mudanças significativas nas operações das distribuidoras de energia, que pressupõe a internalização de inovações tecnológicas capazes de qualificá-las a assumirem novas responsabilidades. Isso inclui a implementação de tecnologias avançadas

de monitoramento e controle, dispositivos de automação da rede e sistemas de gerenciamento de dados em tempo real.

Na relação com os consumidores, a digitalização da rede também é relevante para a viabilização de mecanismos de resposta da demanda, na qual os consumidores ajustam o seu consumo de energia em resposta a um sinal de preço, e de outros serviços inovadores, como o carregamento inteligente de veículos elétricos e sistemas de gerenciamento que elevam a eficiência energética das residências.

Neste contexto, vale destacar a recente iniciativa da ANEEL de promover *sandboxes* tarifários, visando a evolução e adequação do modelo tarifário brasileiro em direção a uma regulação aderente à nova realidade digital. Os projetos são campos de teste de novos serviços, baseados em tarifas personalizadas para usuários de REDs, como micro e minigeração distribuída, veículos elétricos e resposta da demanda.

Deste modo, o *upgrade* tecnológico em direção às DSOs é visto como um passo importante na modernização e adaptação das redes elétricas aos crescentes desafios do setor elétrico, em especial relativos ao segmento da distribuição, uma vez que todas essas novas tecnologias irão utilizar as redes elétricas.

Ao promover a correta e eficaz integração dos REDs à rede elétrica, as DSOs desempenham um papel crucial na consolidação de um sistema:

- i. Com maior segurança no fornecimento de energia;
- ii. Mais eficiente na utilização dos recursos energéticos;
- iii. Capaz de manter a dinâmica da sustentabilidade através da promoção de tecnologias limpas;
- iv. Mais resiliente na resposta a eventos críticos e falhas na rede;
- v. Capaz de estimular e viabilizar a participação ativa dos consumidores; e
- vi. Com maiores possibilidades para o desenvolvimento de novos serviços e modelos de negócio para os agentes econômicos, criando mais emprego e gerando mais renda.

## **Conclusões**

A transição energética está induzindo uma ampla e profunda transformação do setor elétrico. Neste contexto, os REDs têm surgido como uma resposta à necessidade de diversificação e descentralização das fontes de energia e, para além do empoderamento dos usuários, cumprem uma importante função quando integrados à rede elétrica, fornecendo serviços ancilares e de flexibilidade. A transição para os REDs também vem impulsionando a adoção de

inovações tecnológicas que estão transformando as distribuidoras de energia em DSOs, de modo a ampliar os seus atributos e sua capacidade de coordenação da rede elétrica, ao passo em que exploram novos modelos de negócio capazes de refletir melhor os custos e benefícios da geração e do consumo de energia em tempo real.

Dessa forma, os REDs são catalisadores da metamorfose tecnológica que o setor elétrico atravessa e a sua integração se mostra imprescindível ao enfrentamento dos desafios da mudança climática e à construção de um futuro energético mais seguro, limpo e acessível para todos.

O Brasil, especificamente, se vê diante de uma oportunidade única de convergir a modernização do setor energético com as bases de crescimento econômico. O potencial quase infinito de aproveitamento dos recursos renováveis abre a possibilidade para a fabricação e internalização de novas tecnologias no setor de energia em linha com os objetivos de uma neointustrialização em bases sustentáveis.

Para as empresas do setor elétrico, por sua vez, as inovações tecnológicas contribuem não só para o *upgrade* do sistema como um todo, visando a garantia da segurança energética do país, mas também para o desenvolvimento de novos negócios e serviços. Ainda falta, porém, uma estratégia integrada e global, coordenada e capitaneada pelo Governo Federal, uma vez que são observadas iniciativas de diferentes ministérios sem um norte mais estruturado e centralizado.