



## CAPÍTULO 4

# LEILÕES DE ENERGIA E A UTILIZAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NÃO DESPACHÁVEIS: desafio da descarbonização e o impacto do *curtailment* para o setor

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.519172513114>

**Sarah Nina de Miranda**

Universidade Federal do Maranhão  
Centro de Ciências Exatas e Tecnologias

**Paulo Levy Castro Maciel**

Universidade Federal do Maranhão  
Centro de Ciências Exatas e Tecnologias

**Myrela Vieira de Araújo**

Universidade Estadual do Maranhão  
Centro de Ciências Tecnológicas

**RESUMO:** O presente artigo analisa o funcionamento dos leilões e contratos de energia fotovoltaica no Brasil, com ênfase nos mecanismos recentes de descarbonização do setor elétrico com a contratação de energias não despacháveis. A discussão parte do contexto da transição energética global, destacando a necessidade de diversificação da matriz e redução das emissões de carbono alinhadas às metas climáticas internacionais. Em seguida, examina-se a estrutura institucional do setor elétrico brasileiro, com foco na papel da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) na formulação e execução dos leilões regulados. São discutidos os impactos da descarbonização sobre o planejamento energético, incluindo desafios recentes como cortes de geração por excesso de fontes renováveis intermitentes e limitações operativas do sistema. Nesse contexto, o artigo analisa criticamente o impacto do curtailment para o setor energético avaliando sua pertinência econômica e seus possíveis efeitos sobre o fornecimento de energia renováveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Descarbonização; Leilões; Transição energética; Não despacháveis; curtailment.

## INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro tem experimentado, nos últimos dez anos, um processo contínuo de reestruturação institucional e operacional, orientado pela necessidade de garantir a expansão da oferta de energia elétrica com confiabilidade, modicidade tarifária e aderência às diretrizes de sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, os leilões de energia consolidaram-se como o principal mecanismo de contratação no Brasil, sendo utilizados tanto no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) quanto em instrumentos específicos voltados à expansão da capacidade instalada e à segurança do Sistema Interligado Nacional (IVITARESE, 2022).

A intensificação da participação das fontes renováveis variáveis, notadamente a energia eólica e a solar fotovoltaica, tem alterado de forma substancial a dinâmica de operação do sistema elétrico brasileiro. Embora essas fontes apresentem vantagens ambientais e custos competitivos, sua natureza intermitente e não despachável impõe desafios adicionais ao planejamento da expansão, à gestão da transmissão e à coordenação do despacho centralizado. Tais desafios tornam-se ainda mais relevantes em um sistema hidrotérmico de grande porte como o brasileiro, no qual a complementariedade entre fontes é elemento central para a segurança energética (Ruschel, 2020).

Embora essas fontes apresentem vantagens ambientais e custos competitivos, suas características intrínsecas desafios adicionais ao planejamento da expansão, à gestão da transmissão e à coordenação do despacho centralizado. Tais desafios tornam-se ainda mais relevantes em um sistema hidrotérmico de grande porte como o brasileiro, no qual a complementariedade entre fontes é elemento central para a segurança energética. (VIANA A.G,2018).

A expansão da geração fotovoltaica se destaca como um dos pilares da transição energética global, impulsionada pela redução contínua dos custos dos módulos solares, pelo avanço tecnológico e pelas metas internacionais de descarbonização. Nas últimas duas décadas, países como Alemanha, Espanha, Chile e Índia consolidaram os leilões de energia renovável como principal instrumento de contratação de novos empreendimentos, alcançando significativa redução de preços e maior previsibilidade regulatória. Nesse cenário, o Brasil desonta como um dos mercados mais promissores do mundo, especialmente em razão de suas condições naturais favoráveis, que envolvem irradiação elevada, disponibilidade territorial e diversificação da matriz elétrica, e da adoção de mecanismos competitivos de contratação, sobretudo a partir dos leilões regulados (SILVA, 2023).

Nesse cenário, o fenômeno do *curtailment*, que é entendido como a restrição involuntária da geração de energia elétrica, mesmo diante da disponibilidade do recurso primário e da capacidade instalada, e tem se tornado recorrente, sobretudo

em regiões com elevada concentração de empreendimentos renováveis. As causas do curtailment incluem restrições estruturais na infraestrutura de transmissão, congestionamentos operativos, limitações de escoamento da geração e decisões de despacho associadas à segurança eletroenergética do sistema. Esses eventos geram impactos econômicos diretos para os agentes geradores, além de sinalizar possíveis ineficiências no alinhamento entre o modelo de contratação via leilões e a capacidade efetiva de absorção da energia pelo sistema (Losekann, 2024).

Dessa forma, a análise dos leilões de energia, enquanto instrumento de política pública e de planejamento setorial, torna-se fundamental para compreender os efeitos da expansão acelerada das fontes renováveis sobre a operação do sistema elétrico e a ocorrência do curtailment.

À luz dessas considerações, o presente artigo tem como objetivo avaliar, por meio do estado da arte, como o fenômeno do *curtailment* impacta a eficiência dos leilões de energia como instrumentos de descarbonização da matriz elétrica brasileira. Busca-se, além disso, discutir as causas do *curtailment* citadas na literatura e as suas consequências econômicas e jurídicas.

## REFERIANCIAL TÉORICO

### Descarbonização

Tentando conciliar diferentes vertentes e setores a Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), surgem com a missão de materializar essas práticas para diferentes setores. Os ODS são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade (ONU BRASIL, 2025). Ramos e Gondim () analisa que por conta da crescente preocupação com sustentabilidade e da queda do preço de tecnologias renováveis, o modelo de geração largamente assentado em fontes fósseis, na maior parte do mundo, está se esgotando, motivados pelas forças de mercado.

Ao todo são 17 objetivos que juntos pretendem mudar o atual panorama mundial. Os ODS apontam objetivos específicos, que devem ser monitorados com indicadores a partir da definição destas metas, as quais são definidas pela ONU e podem ser readequadas, conforme necessidade e compatibilidade com a realidade do país (ZORZO et. Al, 2022).

No aspecto da transição energética, o principal ODS é o número 07. Diante das mudanças climáticas a urgência, a Resolução Normativa nº 5, de 2024 [5], elaborada pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), define Transição Energética

como: “processo de transformação da infraestrutura, da produção e do consumo de energia pelos diferentes setores, visando contribuir para a neutralidade das emissões líquidas de GEE do País”.

Cerca de 80% dos recursos energéticos mundiais são advindos de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás natural, e apenas 19% vêm de fontes renováveis, como as energias solar, hidrelétrica, eólica e de biomassa. Por outro lado, a utilização excessiva de combustíveis fósseis tem gerado sérias preocupações ambientais, incluindo as associadas às mudanças climáticas.

O escopo desse ODS é sobre a Energia limpa e acessível, cuja meta até 2030, é expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento. Energia de fontes hidrelétrica; energia marinha (oceano, marés e ondas); energia eólica; energia solar (fotovoltaica e térmica); bioenergia; e energia geotérmica. E o indicador utilizado para acompanhar esse objetivo é a capacidade instalada de geração de energia renovável nos países em desenvolvimento (em watts per capita) (ODS BRASIL, 2025). ODS 7 almeja garantir o acesso a fontes energéticas modernas que sejam acessíveis, confiáveis e reconhecidamente sustentáveis (EPE, 2024).

É importante mencionar também que, para atingir o objetivo do Acordo de Paris, será necessário descarbonizar grande parte do sistema energético mundial, no setor braisleiro, o país é signatário do Acordo de Paris, e assumiu o compromisso de reduzir as emissões de gases que provocam o efeito estufa a 63% do volume de 2005 (RAMOS E GONDIM, ()). Para que isso ocorra, fontes renováveis de energia precisam ser instaladas cada vez mais e integradas a setores que demandam energia, como o transporte e a indústria.

A EPE (2025a) propõe a construção da transição energética embasada sobre a descarbonização, descentralização e digitalização. A construção de uma estratégia de descarbonização deve considerar diversos aspectos, que podem ser agrupados nas dimensões energéticas, ambientais, econômicas e tecnológicas. A descentralização está associada aos aspectos tecnológicos do setor elétrico, aplicados também na produção de biocombustíveis líquidos e o biogás em plantas de pequena escala, o que aproveitaria o potencial dos resíduos urbanos e agrícolas brasileiros. A digitalização poderá evitar a movimentação física de bens e serviços, substituindo em parte fluxos de transporte por fluxos de informação e dados (atividades remotas, impressão 3D,etc) EPE (2025a).

Por sua vez, o setor elétrico é protagonista da transição energética global, desempenhando um papel central no esforço de descarbonização. Isso ocorre porque as tecnologias de energia renovável foram desenvolvidas em escala inicialmente nesse setor, o que levou à estratégia de descarbonizá-lo primeiro para, em seguida, eletrificar outros setores, como transporte e indústria e, assim, alcançar também a descarbonização. (FGV

## Leilões de Energia no Brasil

Os leilões são mecanismos de mercado que visam aumentar a eficiência da contratação de energia, procurando garantir o abastecimento da população com o menor custo. Todas as distribuidoras do Sistema Interligado Nacional (SIN) contratam a totalidade de seus recursos para atendimento de seu mercado regulado. A inserção de fontes não despacháveis trouxe novos desafios ao planejamento e operação do sistema, exigindo uma maior flexibilidade. Inicialmente voltados para a expansão da oferta de energia, os leilões de energia passaram a desempenhar um papel mais sofisticado. A Lei 10.848/2004 foi um marco fundamental para o setor elétrico brasileiro que promoveu uma profunda reorganização do mercado de energia. A legislação alterou as regras de comercialização, estabelecendo no Brasil, há dois espaços de comercialização de energia elétrica que operam por meio de contratos registrados na CCEE. (Losekann, 2024)

O Ambiente de Contratação Livre (ACL) os participantes negociam a contratação de energia: preço, quantidade, fornecedor, pagamento, período, entre outras condições. No Ambiente de Contratação Livre, o consumidor firma um contrato com a vendedora da energia e outro com a distribuidora, relacionado às condições de uso do fio de distribuição. No Ambiente de contratação Regulado (ACR) as distribuidoras compram energia elétrica nos leilões realizados pela ANEEL ou pela CCEE, com base nas diretrizes estabelecidas pelo Ministério de Minas e Energia, os consumidores não participam desses leilões e só podem comprar energia das concessionárias que atendem a região onde estão localizados, sem qualquer flexibilidade de escolha.

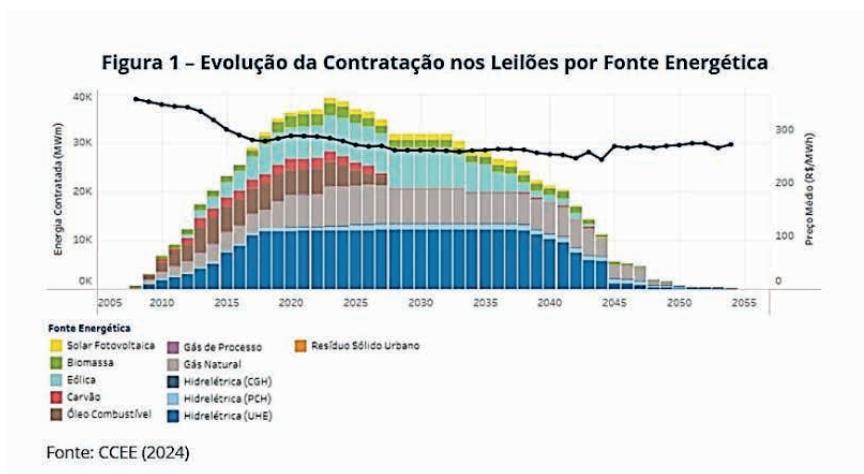


Figura 1: Evolução da contratação de energia por leilões no Brasil. Fonte: RODRIGUES, 2024.

Segundo levantamento de dados de Niágara Rodrigues, em 2024, ao desenvolver o periódico “20 Anos de Leilões de Energia no Brasil: Evolução e Novos Desafios” os leilões de energia deixam de configurar um instrumento eficaz para promover a expansão e a diversificação do parque gerador a partir do final da década de 2010. Desde 2018, a contratação anual em leilões de energia nova é inferior a 2 GWmed, que era a média histórica até então. Nos últimos 4 anos, menos de 1 GWmed foi contratado nos leilões de energia nova. Segundo Rodrigues, 2024 uma das causas da perda de relevância dos leilões foi o crescimento do mercado livre, uma vez que a contratação via leilão é orientada apenas ao mercado cativo. Em 2024 (dados até maio), o mercado livre já representava 37% do consumo brasileiro de eletricidade. Com a forte difusão das fontes intermitentes, há um excesso de “energia” no sistema, o que inviabiliza a realização de leilões usuais de energia nova, mas há necessidade de potência para o atendimento de momentos críticos, quando as placas solares deixam de produzir eletricidade com o entardecer.

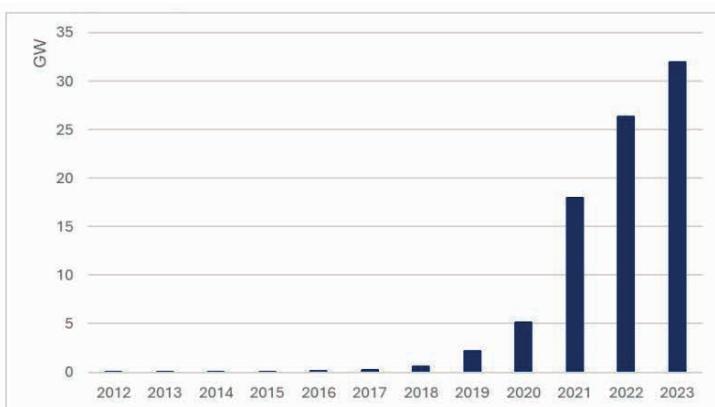


Figura 2: Capacidade instalada de geração distribuída solar – GW Fonte: RODRIGUES, 2024.

A figura 2 segundo Rodrigues 2024, apresenta que a difusão da geração distribuída após 2018 diminuiu a necessidade de agregar capacidade ao sistema e contribuiu para a menor relevância dos leilões como mecanismo de expansão. Os incentivos para a geração distribuída tornaram a instalação de painéis solares bastante atrativa.

Após episódios de escassez de geração elétrica nos anos 2000, o Governo Brasileiro optou pela contratação de outras fontes de energia com a execução do primeiro leilão “específico”, em 2009, para contratação de energia eólica objetivando aumentar

a segurança do abastecimento nacional e diversificação da matriz energética. Os resultados indicaram que a política governamental dos leilões específicos permitiu o aumento da geração eólica aproximadamente 3 (três) vezes maior em relação à situação hipotética de não ocorrência de leilões específicos no período analisado, adicionando um estoque de 46.773 GWh à matriz energética brasileira. A matriz elétrica brasileira tornou-se mais diversificada e, consequentemente, mais segura ao abastecimento da população (CIVITARESE, 2022).

A fonte solar fotovoltaica participa dos leilões de energia do mercado regulado desde 2013, com contratações a partir de 2014. Nesse período, tem havido um crescimento na quantidade de empreendimentos cadastrados e uma constante evolução tecnológica nos projetos, bem como uma queda nos custos de investimento reportados e nos preços de venda de energia (PONTE, 2020).

O Programa de Expansão da Transmissão (PET) / Plano de Expansão de Longo Prazo (PELP) consiste em um documento gerencial, publicado duas vezes ao ano, que abrange todas as obras de expansão do Sistema Interligado Nacional (SIN) que ainda não tenham sido autorizadas ou licitadas. Trata-se, portanto, de importante insumo para o Ministério de Minas e Energia (MME), sobretudo à ocasião da elaboração do Plano de Outorgas de Transmissão de Energia Elétrica (POTEE), que relaciona as obras a serem em seguida outorgadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A EPE atua no planejamento da transmissão de forma transparente e com ampla divulgação. O processo inicia-se com a identificação de necessidades estruturais do SIN, considerando a evolução da demanda, a inserção de novas fontes de geração, a modernização tecnológica e os requisitos de confiabilidade.

A partir dessa análise, são realizados estudos técnicos detalhados, baseados em simulações elétricas, avaliação de custos e aspectos socioambientais, que resultam na definição de um conjunto de obras recomendadas para expansão da rede. Os estudos conduzidos pela EPE subsidiam diretamente a elaboração do Plano de Outorgas de Transmissão de Energia Elétrica (POTEE), documento setorial, publicado pelo MME, consolidas as obras para outorga. Além disso, a EPE publica anualmente sua Programação de Estudos, permitindo amplo acompanhamento por parte de agentes, instituições do setor e da sociedade em geral.

A matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica brasileira, é predominantemente composta por fontes renováveis. Majoritariamente a fonte hidráulica ganha destaque com 46,41% da capacidade total, seguidos da geração eólica com 14,06%, a solar fotovoltaica centralizada por 7,12%, e a micro e minigeração distribuída (MMGD), responde por 15,54%, sendo a parcela restante complementada por 16,01% de geração térmica (gás natural, biomassa, carvão, óleo, etc.) e 0,85% de geração nuclear (ONS, 2024b).

Desde 17 de abril de 2012, quando a ANEEL criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade (ANEEL, 2016).

A capacidade instalada de geração do SIN é composta, principalmente, por usinas hidrelétricas distribuídas em dezesseis bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país. Nos últimos anos, a instalação de usinas eólicas, principalmente nas regiões Nordeste e Sul, apresentou um forte crescimento, aumentando a importância dessa geração para o atendimento do mercado. As usinas térmicas, em geral localizadas nas proximidades dos principais centros de carga, desempenham papel estratégico relevante, pois contribuem para a segurança do SIN.

Essas usinas são despachadas em função das condições hidrológicas vigentes, permitindo a gestão dos estoques de água armazenada nos reservatórios das usinas hidrelétricas, para assegurar o atendimento futuro. Os sistemas de transmissão integram as diferentes fontes de produção de energia e possibilitam o suprimento do mercado consumidor. O ACL facilita a escolha de fontes renováveis, como solar e eólica (GOV, 2025)

## Fontes Não Despacháveis e o Curtailment

A matriz de capacidade instalada de geração elétrica brasileira tem passado por uma significativa transformação nos últimos anos, impulsionada pela expressiva expansão das Fontes de Energia Renovável Variável (FERVs), notadamente a eólica e a solar centralizada, bem como pela MMGD. O setor elétrico brasileiro será influenciado pelo potencial adormecido da Geração Distribuída e do aumento da complexidade de gestão do sistema, o que resultará as concessionárias em um ciclo de redução de receitas e aumento de despesas (BARBARESCO, 2025; RAMOS E GONDIM ).

De acordo com Barbaresco (2025) em decorrência do contínuo avanço das fontes renováveis, principalmente a Micro e Minigeração Distribuída (MMGD), posicionando-a de acordo com previsões da EPE até 2028, como a segunda maior fonte em termos de capacidade instalada no país. Este fenômeno provoca uma redução significativa da carga líquida do SIN, entendida como a carga total do sistema subtraída da geração não despachável instantânea da MMGD.

O Brasil possui características climáticas favoráveis às fontes renováveis (painéis solares, biomassa, eólicas) e características funcionais que incentivam o potencial para ampla adoção da Geração Distribuída, já que o papel dos consumidores se modifica, já que estes são capazes de gerar sua própria energia, aumentando a complexidade do sistema, além dos do aumento de custos e queda de receita ao sistema elétrico brasileiro (RAMOS E GONDIM, 2023).

Pinho (2025) adverte que com o aumento crescente dos sistemas fotovoltaicos, tem-se uma grande preocupação entre as empresas do ambiente regulado de geração, devido ao aumento de injeção de energia elétrica no sistema, não é acompanhado pelo consumo de energia que se mantém em níveis estáveis.

Barbaresco (2025) defende que o Sistema Integrado Nacional opera com base no princípio fundamental do equilíbrio dinâmico entre a oferta (geração) e a demanda (consumo) de energia elétrica, exigindo que, a cada instante, ambas sejam iguais para manter a estabilidade da frequência e da tensão do sistema. O mesmo autor adverte que a inserção acelerada e geograficamente concentrada das fontes de energia renováveis variáveis tem gerado desequilíbrios estruturais crescentes no sistema elétrico brasileiro.

Essas novas fontes têm como características instabilidade e imprevisibilidade superiores às das fontes convencionais, devido à sua maior suscetibilidade a fatores climáticos instantâneos (RAMOS E GONDIM, 2023). Essas características resultam na supergeração de energia do sistema principalmente no nordeste brasileiro.

Barbaresco (2025) avalia que o somatório da geração da MMGD com a geração centralizada eólica e solar tem levado à necessidade de restrição operativa, a chamada *curtailment*, destas últimas em momentos de baixa demanda líquida, acarretas pela grande geração de energia.

Conforme a REN 1030/2022, tem-se três categorias de classificação dos curtailments, pelas falhas ou restrições de instalações de transmissão, por razões técnicas que exigem limitação por segurança da operação e por excesso de geração solar em momentos de baixa demanda (PINHO, 2025).

O termo *curtailment*, também conhecido como *constrained-off*, refere-se à limitação deliberada da geração de energia elétrica de uma usina ou conjunto de usinas. Essa redução é comandada pelo ONS e ocorre mesmo quando há disponibilidade de recurso primário (vento, irradiação solar, água) e capacidade instalada na usina para produzir mais energia (BARBARESCO, 2025).

A situação se agrava nos períodos do ano em que ocorre a alta geração renovável no Nordeste e baixa demanda no Sudeste/Centro-Oeste, a região Nordeste apresenta um excedente de geração que chega a demandar exportações cerca de 10 a 13 GW de potência (ONS, 2024b).

A expansão dessas fontes ocorre predominantemente em regiões com abundância de recursos primários, (Bahia, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí) e, mais recentemente, no Norte de Minas Gerais (parte do subsistema Sudeste), enquanto os grandes centros consumidores permanecem localizados majoritariamente no

subsistema Sudeste/Centro-Oeste, particularmente em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (ANEEL, 2023b; ONS, 2023a).

De acordo com Absolar (2025), esses cortes reduzem a rentabilidade dos empreendimentos, desfavorecendo novos investimentos no setor renovável de energia. A ANEEL (2022) afirma que os *curtailment* são um dos desafios atuais para o balanceamento do setor de geração. Caso não sejam feitos investimentos no setor a tendência é que esse cenário se agrave, visto que aumento da geração de energia em painéis fotovoltaicos no modelo de geração distribuída, as incertezas de operação do sistema também aumentam, indicam que a geração residencial já está a ponto de ultrapassar a geração controlada (ABSOLAR, 2024). Sem contar que quando acontece o *curtailment*, a energia renovável não é aproveitada, sendo necessário a compensação por meio de termoelétricas.

## METODOLOGIA

### Tipo de Pesquisa

Esta pesquisa caracteriza-se como um levantamento bibliográfico de natureza qualitativa e caráter exploratório. A construção do trabalho seguirá as seguintes etapas:

- Identificação e Seleção: Busca de fontes secundárias em bases de dados como Google Acadêmico, Scielo e periódicos da CAPES, além de documentos técnicos de órgãos do setor (EPE, ONS, ANEEL e CCEE).
- Critérios de Inclusão: Serão selecionados artigos, teses e relatórios publicados majoritariamente nos últimos 05 anos, focando na transição energética brasileira pós-2010.
- Palavras-chave: “Leilões de Energia”, “Energia Eólica e Solar”, “Curtailment”, “Constrained-off” e “Descarbonização”.
- Análise de Dados: Utilização da técnica de análise de conteúdo para cruzar as visões teóricas sobre a expansão das renováveis com os dados reais de corte de geração registrados nos últimos anos.

### Procedimentos metodológicos

Os procedimentos adotados incluem pesquisa documental com coleta de editais, atas e relatórios dos leilões disponibilizados por ANEEL, CCEE, MME e EPE. Utilizase de levantamentos de resoluções normativas, notas técnicas, portarias e comunicados relacionados à contratação de energia fotovoltaica nos dois ambientes.

É considerada uma pesquisa bibliográfica com a consulta a artigos científicos nacionais e internacionais, relatórios técnicos, livros e dissertações sobre leilões de energia renovável, políticas de incentivo à energia solar, funcionamento do ACR e do ACL.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo identificou que o *curtailment* gera uma ineficiência ambiental para manter a rede estável sem as renováveis cortadas, muitas vezes o sistema precisa acionar termelétricas (mais caras e poluentes), o que contradiz o objetivo inicial de redução de emissões. De acordo com a pesquisa realiza, segue as contribuições e discussões acerca do problema do trabalho.

### Hibridização de Usinas e Otimização da Transmissão

A hibridização consiste em combinar duas ou mais fontes (ex: Eólica + Solar) em um único ponto de conexão. Do ponto de vista energético, há um benefício associado à diversificação de fontes devido ao efeito portfólio. Cada fonte renovável possui sua sazonalidade, modulação e perfil de produção instantâneo, e a agregação pode levar a maior estabilidade da produção conjunta.

Contudo, esse benefício independe da consideração de usinas híbridas, usinas adjacentes, ou da instalação de duas usinas de fontes distintas em locais diferentes. Ou seja, em uma avaliação estritamente energética, o benefício reside na formação de portfólio adequado de projetos de diferentes fontes, independentemente de estarem próximos ou combinados.

Do ponto de vista elétrico, em especial sob a ótica da operação do sistema, a diversificação de fontes e o efeito portfólio podem contribuir para amenizar os impactos sistêmicos provocados por variabilidades instantâneas na disponibilidade de potência, em especial, da geração proveniente de empreendimentos renováveis variáveis, como eólicos e solares fotovoltaicos.

Assim, desde que mantida a injeção de potência máxima em um mesmo ponto de conexão, é esperada diminuição na variabilidade da geração com consequente aumento no fator de utilização do sistema de transmissão. Por outro lado, é importante destacar que o efeito portfólio mencionado no parágrafo anterior já pode ser em parte capturado pelo arcabouço atual na medida em que diferentes fontes se conectam em pontos do sistema elétrico próximos, incluindo aqueles que compartilhem as mesmas instalações interesse restrito.

No entanto, é importante destacar que o aproveitamento do benefício da redução de variabilidade na injeção de potência é fortemente impactado pela localização dos empreendimentos, pelas características elétricas dos geradores,

pela configuração do sistema elétrico regional e do sistema de interesse restrito das usinas. Essas questões podem minimizar os eventuais efeitos benéficos das usinas híbridas e, portanto, os impactos da implantação de usinas híbridas, em especial sob a ótica da segurança sistêmica, devem ser avaliados caso a caso. Ao possuir usinas de fontes diferentes, com perfis de geração distintos, a não-correlação entre as produções das usinas reduz eventuais exposições financeiras ao empreendedor causadas pelas flutuações dos recursos primários.

## Modernização do Desenho de Mercado e Leilões

O arcabouço regulatório brasileiro carece de instrumentos que promovam uma alocação mais equilibrada dos riscos associados à variabilidade da geração. Para mitigar esse problema é necessário abordar de forma ampla e não isolada, deixando de tratar a energia renovável apenas como “MWh ao menor preço” e passar a remunerar atributos sistêmicos, reduzindo incentivos à expansão descoordenada da geração. Os leilões brasileiros, até 2025, pouco diferenciam a contratação de energia conforme a capacidade real de escoamento da região.

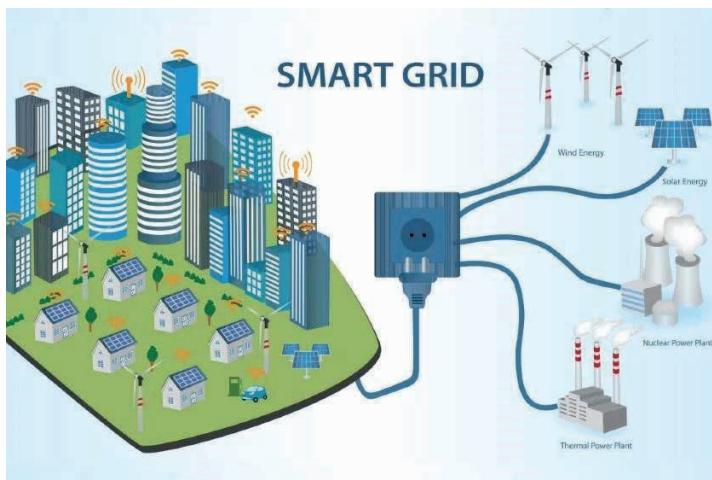
É necessário que os preços ou produtos sejam diferenciados por submercado, com penalização econômica implícita para regiões estruturalmente congestionadas e oferecer incentivo à localização de projetos próximos aos centros de carga ou à infraestrutura disponível. É importante que exista a integração obrigatória entre planejamento da geração e da transmissão para condicionar habilitação em leilões à existência e garantia de infraestrutura de escoamento.

## Expansão da Transmissão e Digitalização da Rede (Smart Grids)

A expansão da capacidade instalada da matriz elétrica atingiu 7 Gigawatts (GW), até agosto de 2023, segundo o o Ministério de Energia. Desse total, 6,2 GW têm origem em fontes solar e eólica, concretizando o maior aumento na geração fotovoltaica e o segundo marco na energia eólica. A utilização de smart grids pode facilitar a integração das energias solar e eólica na rede elétrica, permitindo uma transição gradual e consistente para fontes de energia renovável. Com isso destaca-se a necessidade de ampliação e modernização da rede de transmissão, com ênfase na adoção de tecnologias associadas às smart grids.

A digitalização do sistema elétrico, por meio de sensores avançados, sistemas de monitoramento em tempo real, automação e ferramentas de previsão aprimoradas, pode aumentar a capacidade de gerenciamento dos fluxos de energia e reduzir restrições operativas. As smart grids permitem maior flexibilidade e resiliência do sistema, facilitando a integração de fontes renováveis variáveis. A incorporação de recursos de flexibilidade, como sistemas de armazenamento de energia, usinas

híbridas e mecanismos de resposta da demanda, surge como elemento estratégico. O armazenamento de energia, em particular, possibilita o deslocamento temporal da geração renovável excedente, reduzindo a necessidade de cortes de geração e contribuindo para a estabilidade do sistema. A resposta da demanda, por sua vez, permite ajustar o consumo em função da disponibilidade de energia, ampliando a eficiência operacional.



Smart Grid System Overview – Image: Courtesy / IEEE

## Sistemas de Armazenamento de Energia (BESS)

O armazenamento via baterias (BESS - *Battery Energy Storage Systems*) é apontado pela literatura como a “chave mestra” para fontes não despacháveis. A ideia é armazenar o excesso de geração solar (meio-dia) ou eólica (madrugada) que seria cortada pelo ONS e injetá-la na rede nos horários de pico. Um grande benefício com essa opção é que as baterias podem fornecer controle de frequência e tensão de forma muito mais rápida que as hidrelétricas, reduzindo a necessidade de *curtailment* por razões de estabilidade sistêmica. Um dos grandes empecilhos do BESS é o alto investimento e a falta de uma legislação que incentive a adoção desse mecanismo.

## CONCLUSÃO

O presente estudo permite compreender o papel dos leilões e contratos de energia renováveis não despacháveis no Brasil como instrumentos essenciais para promover a expansão da matriz elétrica com base em fontes renováveis. A análise

demonstra como o desenho regulatório nacional, conduzido por instituições como a ANEEL e a EPE, influencia diretamente na viabilização técnica e econômica desses empreendimentos. Também evidencia que as energias renováveis não despacháveis desempenham papel central no processo de descarbonização do setor elétrico, mas sua expansão acelerada impõe desafios significativos ao planejamento e à operação do sistema, materializados, sobretudo, na ocorrência do curtailment. Os resultados indicam que esse fenômeno decorre de limitações estruturais, regulatórias e operativas, refletindo a necessidade de aprimoramento do modelo atual de expansão e contratação da energia elétrica.

Conclui-se que a mitigação do curtailment requer uma abordagem sistêmica, baseada em investimentos em infraestrutura de transmissão, adoção de tecnologias de smart grids, incorporação de recursos de flexibilidade e evolução do arcabouço regulatório. A valorização de atributos além do custo marginal de geração, como flexibilidade e adequação locacional, é condição necessária para a consolidação de um setor elétrico de baixo carbono, resiliente e eficiente.

## REFERÊNCIAS

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Cenários Energéticos Plano Nacional de Energia 2055. Rio de Janeiro: EPE, 2025a. 68p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em: 10 dez. 2025

FRAGA, Lucas Thixbai Freitas; DA SILVA, Francisco Gildemir Ferreira. ESTIMAÇÃO DE DEMANDA DOS AMBIENTES REGULADO E LIVRE DO MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRO Lucas Thixbai Freitas Fraga1 ; Francisco Gildemir Ferreira da Silva. 2023

LOPES, Murilo Kenji Senda. Migração do ambiente de contratação regulada para o ambiente de contratação livre para um consumidor do setor público / Murilo Kenji Senda Lopes. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024 70 f. : il.

LOSEKANN, L. RODRIGUES, N. (2024). **20 Anos de Leilões de Energia no Brasil: Evolução e Novos Desafios.** Ensaio Energético, 09 de novembro, 2024.

MEDEIROS, Gabriel Loureiro. Dimensionamento ótimo de sistemas de armazenamento de energia aplicados a sistemas híbridos de geração de energia / Gabriel Loureiro Medeiros. 3 Campina Grande, 2024.

PINHO, Laís Lana de Modelo Baseado em Machine Learning - Gradient Boosting para Apoiar o Cálculo de Curtailments: Estudo de Caso da Geração de Energia Fotovoltaica do Subsistema Sul Brasileiro / Laís Lana de Pinho ; orientador, Ricardo Villaruel Dávalos, 2025. 91 p.

YANG et al R. L. . | Gerenciamento eficiente da produção de energia elétrica: desafios ... 45 GERENCIAMENTO EFICIENTE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: DESAFIOS PARA REDUÇÃO DO CORTE DE GERAÇÃO DE ENERGIA DAS FONTES RENOVÁVEIS Renata Lautert Yang1 Luciane Neves Canha2 Gerson Maximo Tiepolo1 Jair Urbanetz Júnior1 1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná 2 Universidade Federal de Santa Maria DOI: 10.47168/rbe. v26i1.562 Recebido em: 11.07.2020 Aceito em: 18.08.2020