

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS HÍBRIDOS EÓLICO-SOLAR FV E OS DESAFIOS REGULATÓRIOS PARA COMERCIALIZAÇÃO NO CONTEXTO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Mabelle Sousa Mendes Sobral – mabelle.sousa@ufpe.br

José Filho da Costa Castro

Chigueru Tiba

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologias e Geociências

Resumo. Este artigo analisa o cenário das usinas híbridas e associadas, destacando as diferenças entre o Brasil e outros países em termos de matriz energética e regulamentação. A regulamentação desempenha um papel fundamental na implementação de novos projetos e/ou adequação de usinas de energia existentes. Recentemente, novas resoluções normativas, tal como a REN 954/2021 e a REN 1.071/2023, redefiniram os procedimentos regulatórios para hibridização de centrais de geração, possibilitando otimizar a contratação do uso da rede de transmissão e abrindo o caminho para o crescimento sustentável na nova modalidade/enquadramento de projetos no país. Entretanto, a regulamentação existente ainda está em pleno desenvolvimento, como mostra este trabalho.

Palavras-chave: Centrais Geradoras Híbridas e Associadas, Fonte Solar FV e Eólica, Regulação do Setor Elétrico

1. INTRODUÇÃO

O cenário de expansão da matriz eletroenergética mundial tem contado com o aumento da participação das fontes renováveis de energia (FRE). Esse crescimento foi impulsionado pelas metas de diminuição da emissão de gases de efeito estufa debatidas em encontros internacionais com a temática do meio ambiente, que aconteceram nas últimas décadas. O último deles, a 21ª Conferência do Clima (COP 21), teve como principal objetivo estabelecer um novo acordo entre os países para diminuir a emissão de gases do efeito estufa e limitar o aumento da temperatura da Terra a 2°C até 2100 (WRI Brasil, 2015).

Em 2022, mais de 80% do consumo mundial de energia era advindo de combustíveis fósseis, como mostra a Fig. 1 (Ritchie & Rosado, 2024). É preciso ressaltar que ao se tratar de cenários mundiais, é necessário considerar a importância da adoção de práticas de diminuição da emissão de carbono pelas principais potências globais, que têm influenciado a maior participação das FRE nessas matrizes.

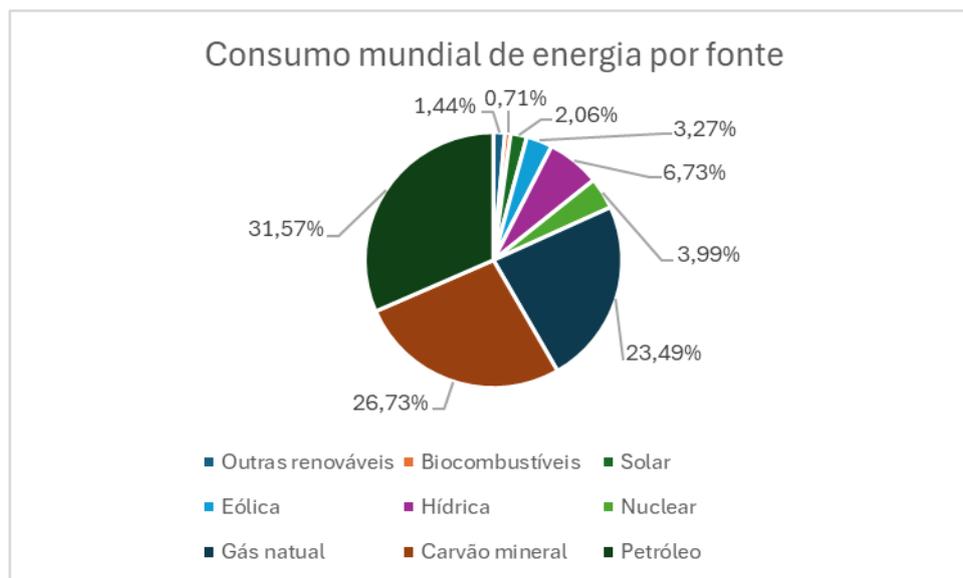


Figura 1 – Consumo mundial de energia por fonte em 2022 (Adaptado de (Ritchie & Rosado, 2024)).

O Brasil, país de proporção continental, possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo. Cerca 47,4% dos recursos energéticos do país são de origem renovável, conforme ilustrado por meio da Fig. 2. Quando avaliada a matriz elétrica, que, além do seu alto crescimento em capacidade instalada, é majoritariamente ocupada por fontes renováveis de energia, como a hidroelétrica, a eólica e a solar.

Em janeiro de 2023, a participação da energia solar na matriz elétrica brasileira superou a participação eólica, que foi a segunda fonte mais participativa na matriz por muitos anos (Além da Energia, 2020). O alto crescimento se deve principalmente à participação da geração distribuída no país, que apresentou expansão de mais de 5 GW de potência instalada somente até agosto. Dos 33,757 GW de potência instalada oriunda da energia solar FV (Fig. 3), 23,364 GW são de geração distribuída (ABSolar, 2023).

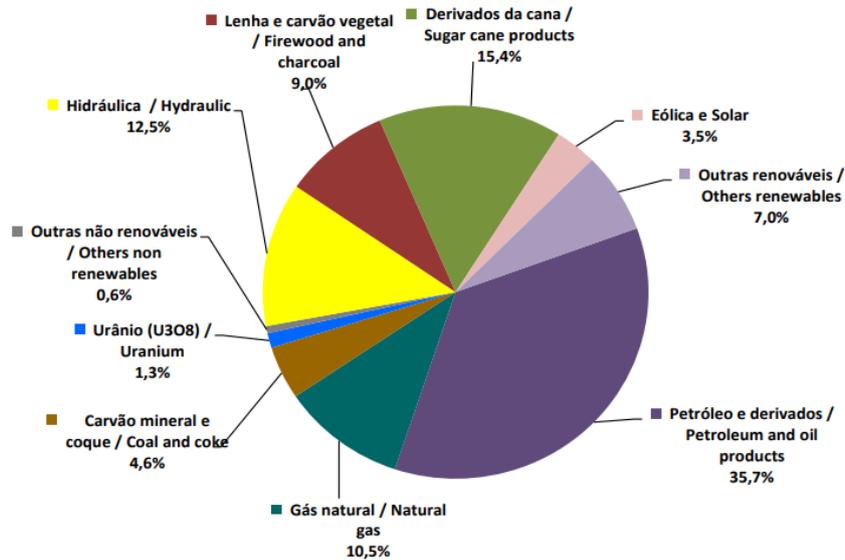


Figura 2 – Oferta Interna de Energia no Brasil em 2022 (EPE & MME, 2023).



Figura 3 – Matriz Elétrica Brasileira em setembro de 2023 (ABSolar, 2023).

A participação das fontes renováveis como eólica e solar foram fortemente impulsionadas no Brasil pelos programas de incentivo governamentais, como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA), que divide o valor de custeio desses empreendimentos em cotas mensais apuradas pela CCEE (CCEE, 2023), e pela Lei 9.427 de 1996 que concedeu desconto de 50% nas Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão e de Distribuição (TUST/D) para os empreendimentos de potência instalada a partir de 5 MW a partir de fontes eólica, solar, biomassa, cogeração qualificada e PCH (Pequena Central Hidrelétrica).

Os leilões públicos de energia, que caracterizam o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), também tiveram contribuição para a expansão das FRE. Desde 2008 os leilões ocorrem no Brasil para comercializar a energia oriunda de fontes eólica e FV. No Ambiente de Contratação Livre (ACL), que tem se intensificado nos últimos anos, as fontes solar e eólica também tem se destacado, em função das reduções de custo para investimento nas tecnologias, aspectos que tem impulsionado a competitividade das FRE do tipo solar FV no mercado.

Em 02 de março de 2021, por meio da Lei 14.120, foi promovido o prazo para fim do desconto na TUST/D, encerrando-se com os pedidos de outorga de autorização, feitos à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão responsável pela regulação de energia no Brasil, até o dia 02 de março de 2022. Em função da imposição deste prazo, os

empreendedores do setor elétrico vivenciaram um fenômeno que ficou conhecido como a “corrida do ouro”, dada a urgência de formalizar seus pedidos de outorga na ANEEL no prazo para garantir o desconto no fio.

A intensa busca por novas autorizações fez com que a Agência recebesse no início de 2022 mais de 4000 pedidos de outorga que, somados, aproximavam-se de 180 GW de potência a ser instalada (ePowerBay, 2023), volume próximo de toda a potência fiscalizada em operação no país, como ilustra a Tab. 1, é próxima de 195 GW (ANEEL, 2023b).

Tabela 1 – Empreendimentos outorgados em implantação e em operação em setembro de 2023.

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	% (Pot. Fiscalizada)
UHE	221	103.580.021,00	103.195.537,00	52,71%
UTE	3123	56.463.880,61	46.451.081,01	23,73%
EOL	1624	54.894.591,86	27.042.223,86	13,81%
UFV	21217	143.939.517,62	10.436.529,55	5,33%
PCH	532	7.210.243,22	5.777.492,56	2,95%
UTN	3	3.340.000,00	1.990.000,00	1,02%
CGH	714	890.514,66	874.959,66	0,45%
Total	27434	370.318.768,97	195.767.643,64	100,00%

Em paralelo ao acúmulo de processos na ANEEL, na fila de acesso do Operador Nacional do Sistema (ONS) os pedidos acumularam-se e alta oferta de geração acabou não sendo acompanhada pela expansão da Rede de Transmissão (Rede Básica - RB). Ocasionalmente uma série de pedidos de acesso ao sistema negados ou condicionados a entrada em operação de obras estruturantes previstas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para expansão da transmissão, como mostra a Tab. 2.

Tabela 2 – Situação dos pedidos de acesso ao Sistema Interligado Nacional
Fonte: ONS.

Tipo	Quantidade	Potência (MW)
Solicitações de acesso em andamento	91	33.516
Pareceres de acesso em necessidade de celebração de CUST	48	15.985
Pareceres de acesso emitidos sem viabilidade de conexão.	47	13.837
Total	186	63.339

Dado o contexto descrito, observa-se que o atual cenário de expansão da geração de energia elétrica no país, a inserção de fontes renováveis tem trazido diferentes desafios para a operação do sistema elétrico brasileiro (EPE & MME, 2020). A expansão da rede de transmissão deve atender preferencialmente os crescimentos de carga, e não a geração (embora a RB também deve estar acoplada e ser expandida para acompanhar o setor de geração).

O crescimento da oferta de energia representa um índice de desenvolvimento de suma importância mercadológica (Barros et al., 2016). Desta forma, a opção de paralisar ou até mesmo proibir o crescimento da geração para que haja tempo suficiente para que a transmissão alcance os patamares de expansão necessários pode impedir o desenvolvimento da cadeia de geração do país. A urgência impulsiona o mercado a se adaptar e encontrar meios de contornar (ou ao menos mitigar) os desafios para conexão de novas centrais geradoras. Portanto, o que se deve buscar soluções para atender o crescimento e permitir o escoamento do montante de energia previsto para os próximos anos, que só deve aumentar.

Dentre as possíveis soluções, cita-se a expansão da transmissão, o deslocamento da carga, a geração distribuída, os sistemas de armazenamento de energia (Menezes, 2022). Entretanto, é necessário ressaltar que a rede de transmissão brasileira foi construída para operar um fluxo de carga unidirecional, oriunda de fontes despacháveis através da programação da operação. O cenário de crescimento de fontes alternativas como eólica e solar põe à prova o inerente risco de intermitência dessas fontes (Reis et al., 2012). Outra possível solução pode ser elaborada através da cogeração, ou da geração híbrida de energia, combinando fontes renováveis de energia. Esta última estratégia, hibridização e associação de fontes, será abordada neste trabalho.

Para usinas híbridas e associadas, a ANEEL publicou em 30 de novembro de 2021 a Resolução Normativa nº 954 (ANEEL, 2021b) para regular a obtenção de outorga de autorização para novos empreendimentos e permitir que centrais geradoras de fontes de energia distintas compartilhem o mesmo sistema de transmissão de interesse restrito para escoamento da energia elétrica produzida.

A diferença entre as usinas híbridas e associadas é basicamente a forma de medição e faturamento do sistema. As usinas híbridas compartilham, além do mesmo sistema de transmissão de interesse restrito, um único medidor de energia e Contrato de Uso do Sistema de Transmissão/Distribuição (CUST/D). Já as usinas associadas, possuem medidores de energia distintos para cada tecnologia empregada no sistema. Do ponto de vista regulatório, a diferença entre as modalidades é que as usinas associadas devem ser objetos de outorgas distintas, diferentemente da usina híbrida.

Além da hibridização e associação de fontes, outras modalidades de enquadramento podem ser exploradas, quando os empreendimentos se localizam próximos um ao outro, mas não dividem sistemas de transmissão, e os portfólios comerciais, montados pelas empresas para diversificar sua oferta de produtos ao combinar usinas de diferentes fontes de energia.

Entretanto, a forma de contratação do Montante de Uso do Sistema de Transmissão/Distribuição (MUST/D) nesta modalidade de operação ainda é algo novo experimentado pelo setor elétrico, uma vez que, após a revogação da Resolução Normativa nº 666 de 2015, que trata do tema, o cálculo a ser realizado pelos agentes de geração na modalidade híbrida ou associada, após realização de consultas públicas (ANEEL, 2021a) e de análise técnica (ANEEL, 2020) (ANEEL, 2022b), foi definido na Resolução Normativa nº 1029 de 2022 (ANEEL, 2022a), baseia-se numa faixa de operação a partir da potência nominal implantada de cada fonte. Em termos simples, o MUST/D contratado deve estar entre potência instalada da tecnologia de maior participação no sistema híbrido ou associado e a soma das potências instaladas de cada tecnologia.

Para caracterizar duas usinas como associadas, é necessário apenas que uma delas não tenha assinado ainda seu CUST/D. Esse requisito abre uma oportunidade relevante: é possível associar uma usina ainda na fase de projeto a uma usina já em operação que possua um contrato assinado. Essa janela de oportunidade permite que empreendimentos que não estejam produzindo como esperado (por exemplo, em função da intermitência de seu recurso) sejam complementados por outra usina para compensar a insuficiência de geração e garantir os cumprimentos dos contratos de compra e venda de energia.

Ainda considerando a opção de Associação, é possível que empreendimentos que não teriam Parecer de Acesso favoráveis pelo ONS sejam associados a empreendimentos já existentes e possam, de uma outra maneira, ser viabilizados e implantados (mitigando o risco de inviabilidade técnica pela falta de margem de escoamento do sistema).

É importante salientar que é o mercado quem dita as regras e que para tornar uma nova modalidade competitiva ela precisa tornar-se mais vantajosa em relação às modalidades já consolidadas. Ou seja, é necessário compreender quando valerá mais a pena implantar um empreendimento de uma única tecnologia de geração, de duas ou mais tecnologias ou quando o mais viável será associar duas ou tecnologias, sejam eles empreendimentos em fase de desenvolvimento ou de operação.

Observa-se que ainda não há uma solução ampla e geral, isto é, não é possível afirmar que sempre e para qualquer condição será mais viável implantar um empreendimento de uma única tecnologia de geração ou um empreendimento de duas ou mais tecnologias distintas. É necessário avaliar caso a caso, e analisar como devem ser analisadas as situações para que se chegue à tomada de decisão adequada.

O processo de tomada de decisão deve ser baseado em uma série de fatores. Alguns deles serão discutidos neste trabalho, impulsionados pela justificativa que existem algumas vantagens no hibridismo que devem ser considerados, como por exemplo: o aumento da confiabilidade do sistema, a mitigação dos riscos financeiros da diversificação de produtos, a possibilidade de compartilhar um único sistema de transmissão de interesse restrito e com isso economizar em CAPEX (*capital expenditure*), a opção de contratar um único MUST/D para o sistema, a otimização do projeto em termos de logística, operação e manutenção e com isso economizar em OPEX (*operational expenditure*), uma vez que as equipes mobilizadas para estas atividades já estariam alocadas no local de implantação, entre outros.

Logo, existem diversas variáveis que precisam ser exploradas e compreendidas de modo a auxiliar o mercado a avaliar a alternativa de implantação de empreendimentos de geração de energia na modalidade híbrida e associada, para que esta seja competitiva em relação a modalidade já consolidada no setor elétrico, que trata apenas de uma fonte de geração.

Para que esta solução se caracterize como viável, é necessário que sejam avaliados alguns critérios de modo que a hibridização ou associação de duas fontes se mostre vantajosa em comparação com usinas de geração de energia elétrica oriunda de uma única fonte. É também necessário compreender como o mercado de energia poderá lidar com esta modalidade, do ponto de vista de contratos de comercialização de energia e de contratação de uso do sistema para escoamento da energia gerada (Luz, 2022).

Para esta análise, serão considerados cinco aspectos principais, que são eles: a disponibilidade de recurso eólico e solar; a correlação entre o potencial de geração de eletricidade a partir das fontes eólica e solar; a disponibilidade de margem de escoamento no Sistema Interligado Nacional; a complementaridade entre as fontes eólica e solar; e a avaliação dos encargos da comercialização da energia. A análise desses aspectos de forma integrada fornecerá informações relevantes para a tomada de decisão sobre a implantação de projetos na modalidade híbrida e associada, considerando seus aspectos técnicos e econômicos.

2. EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL NA HIBRIDIZAÇÃO DE FONTES DE GERAÇÃO

Internacionalmente as usinas híbridas e associadas possuem um histórico mais avançado do que no Brasil. Há trabalhos sobre o tema, e ainda diversos exemplos de sistemas híbridos instalados espalhados por outros países (Luz, 2022) (Guimarães et al., 2022).

Diferentemente do Brasil, que possui uma matriz elétrica diversificada, em diversos países do mundo a matriz é majoritariamente oriunda de combustíveis fósseis. Portanto, a escolha pela hibridização é aliada não somente com a disponibilidade dos demais recursos, mas também com a maturidade da tecnologia e com a segurança energética que este tipo de matriz traz ao sistema, frente à dependência dos combustíveis fósseis que tem sido cada vez mais questionada e as demais opções vêm apresentando forte crescimento.

O fato de associar uma termelétrica a gás natural a um sistema FV ou eólico implica na diminuição de emissão de gases do efeito estufa e permite a flexibilidade de geração. A termelétrica, garante, diferentemente de uma fonte intermitente, a segurança na geração de energia elétrica. Entretanto, assim como destaca a nota técnica EPE-DEE-NT-

029/2019-r0 sobre as usinas híbridas no contexto do planejamento energético (EPE, 2019), apesar dos benefícios, ainda há obstáculos associados aos aspectos comercial e regulatório na implementação destas modalidades de usinas.

Assim como no Brasil, que teve o crescimento das fontes alternativas de energia fortemente impulsionado pelo incentivo governamental (EPE, 2019), a maioria dos projetos construídos até o momento em outros países depende de subsídios e regulações específicas para viabilização (EPE, 2019).

É também necessário considerar que cada país tem um sistema elétrico com particularidades. Há pontos que devem ser analisadas e que podem impor dificuldades razoáveis para a implantação destas usinas. De modo geral, é possível citar os aspectos:

- **Fundiário:** Grandes usinas demandam grandes áreas de implantação. Dependendo da tecnologia, algumas fontes de energia necessitam de áreas maiores que outras para sua implantação. Por exemplo, uma usina eólica necessita de uma área para implantação muito maior que uma usina termelétrica, uma vez que os aerogeradores são equipamentos de grandes dimensões e que necessitam de um afastamento considerável um do outro, a depender de seu projeto. Em países que possuem disputas territoriais e que as áreas livres são necessárias para cultivo de alimentos, tem-se dificuldade em tornar a geração de energia o fim mais viável para uma propriedade valorizada;
- **Recurso energético:** Como já citado anteriormente, nem todos os países possuem a diversidade de recursos naturais para geração de energia que se encontra no Brasil. Este país de dimensão continental, localiza-se próximo a linha do equador, possui várias horas de sol durante um dia, extenso território litorâneo, é cortado por diversos rios, possui variedade em biomassa e entre outras vantagens que tornam a atratividade das fontes alternativa de energia crescerem naturalmente;
- **Transmissão e distribuição de energia:** O Brasil é cortado por diversas linhas de transmissão e subestações de grande porte que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN), e permite o escoamento de energia em todo território brasileiro, com exceção dos Sistemas Isolados, majoritariamente no norte do país, motivado principalmente pela grande área de floresta no Amazonas, que representa obstáculo para continuidade de linhas aéreas e subterrâneas às extremidades e diversas áreas da região norte. Além dos equipamentos de rede básica (que operam em tensão superior a 230 kV) e de rede básica de fronteira (que operam em tensão de 138 kV), o Brasil também possui extensa malha de linhas de distribuição (iguais ou inferiores a 138 kV) e suas subestações. Estas conexões garantem o suprimento de energia em quase que na totalidade do território brasileiro. Nem todos os países do mundo possuem um sistema como este, com possibilidade de escoamento de energia a nível nacional.

Ainda assim, mesmo com as características de cada país, existem diversos exemplos de sistemas híbridos de geração de energia elétrica espalhados pelo mundo. Sistemas estes implantados em diferentes escalas e contando com diversas aplicações. Alguns destes sistemas incluem ainda armazenamento de energia através de baterias. A Tab. 3 apresenta um levantamento dos principais projetos de sistemas híbridos no mundo.

3. ASPECTO NACIONAL – SISTEMAS HÍBRIDOS NO BRASIL

Como mencionado anteriormente, o Brasil possui variedade entre os recursos disponíveis para geração de energia elétrica, o que torna a hibridização bastante promissora no país. O primeiro sistema híbrido no país foi o implantado na ilha de Fernando de Noronha, em Pernambuco. Adicionando a tecnologia eólica a uma planta a diesel, o sistema entrou em operação em 1992. Por decorrência de uma descarga atmosférica em 2009, os dois aerogeradores implantados no local tiveram de ser removidos (Luz, 2022).

Diversos outros sistemas foram implantados ao longo dos anos no Brasil, ainda que em escala menor e sem regulação específica. Destaca-se, no ano de 2015, o parque que levou o título de “primeiro parque híbrido de energia renovável do Brasil”, o Complexo Fontes (Fig. 4), implantado na cidade de Tacaratu, a aproximadamente 500 km de Recife, em Pernambuco (Camargo, 2015).



Figura 4 – Complexo Fontes, em Tacaratu/PE.

Fonte: Secretaria de Desenvolvimento Econômico de Pernambuco.

O projeto foi concebido como uma parceria do governo de Pernambuco com a empresa italiana Enel Green Power. O complexo reúne as tecnologias eólica e FV, com potência instalada de 80 MW somados a 11 MW, das duas fontes, respectivamente (Camargo, 2015).

Os projetos foram licitados em ocasiões diferentes, sendo o eólico no leilão A-3 de 2011 e o de solar no leilão regional de Pernambuco em 2013 (Bezutti, 2022).

Tabela 3 – Exemplos de sistemas híbridos ao redor do mundo.

Fonte majoritária (1)	Fonte complementar (2)	Bateria	País	Potência instalada (1) (MW)	Potência instalada (2) (MW)	Referência
Eólica	FV	Não	Austrália	164	10	(EPE, 2018)
Eólica	FV	Sim	Austrália	43,2	15	(EPE, 2018)
Eólica	FV	Não	Estados Unidos	4,6	1 (pico)	(EPE, 2018)
Geotérmica	FV (2) e solar térmica (3)	Não	Estados Unidos	33	27 (2) e 2 (3)	(EPE, 2018)
Eólica	FV	Não	Reino Unido	8,4	5	(EPE, 2018)
Eólica	FV	Sim	China	100	40	(EPE, 2018)
Eólica	FV	Sim	Estados Unidos	300	50	(Paiva, 2022)
Eólica	FV (2) e Termo solar por concentração (3)	Sim	China	400	200 (2) e 50 (3)	(Paiva, 2022)
Eólica	FV	Não	Estados Unidos	5	0,5 (pico)	(Braga, 2021)
FV	Eólica	Sim	China	1.800	20	(Braga, 2021)
Eólica	FV	Sim	China	100	40	(Braga, 2021)
Eólica	FV	Não	Índia	50	28,8	(Luz, 2022)
Eólica	FV	Sim	Grécia	0,8	0,16	(Luz, 2022)
Eólica	FV	Sim	Portugal	4,5	1	(Luz, 2022)
Eólica	FV	Sim	Espanha	0,85	0,245	(Luz, 2022)

Ainda no ano de 2015, o estado de Pernambuco publicou o “Atlas Eólico e Solar de Pernambuco”, documento elaborado com o apoio de empresas e instituições como Eletrobras, Chesf, ONS, Universidade Federal de Pernambuco, entre outros, que tem como objetivo apresentar uma visão geral do potencial de geração de energia a partir das fontes eólica e solar FV no Estado, como forma de subsidiar a elaboração de políticas e estratégias para atrair novos investimentos para Pernambuco (Governo de Pernambuco, 2017).

Mais de sete anos após o início da operação comercial do projeto em Tacaratu/PE, a Enel, no final de 2022, manifestou seu grande interesse em investir em projetos híbridos como alternativa aos combustíveis fósseis, inclusive desenvolvendo novas plantas híbrida (Bezutti, 2022).

Ainda considerando os sistemas híbridos brasileiros, cita-se a usina solar flutuante denominada UFV Veredas Sol e Lares, implantada sob o lago da PCH Santa Marta, no município de Grão Mogol, em Minas Gerais (Hein, 2023). A usina é de propriedade da Associação Estadual de Defesa Ambiental e Social, com recursos do programa de pesquisa e desenvolvimento da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). A usina solar FV (UFV) tem capacidade instalada de 1,2 MWp (Hein, 2023).

Um estudo de pesquisadoras da China, Tailândia, Suécia e Estados Unidos sobre o potencial de geração de energia solar flutuante em todo o mundo, indicou que o Brasil é o terceiro país do mundo com maior potencial. Estima-se uma geração anual de 865 TWh, o que poderia suprir toda a demanda elétrica do país, de cerca de 538 TWh por ano (Santos, 2023).

Pesquisas indicam o potencial de crescimento dos sistemas híbridos no Brasil (Guimarães et al., 2022) (Luz, 2022), inclusive elaborando extensivas revisões sobre o tema. Entretanto, ressalta-se que os sistemas híbridos no Brasil cresceram ainda que sem regulação específica e contanto com o incentivo de pesquisa dos diversos centros espalhados pelo país. A Tab. 4 apresenta um levantamento dos registros de projetos de sistemas híbridos ou associados no Brasil, em operação, com potência instalada superior a 5 MW.

No tópico seguinte, serão apresentados os empreendimentos de que se encontrou autorização do órgão regulador para implantação na modalidade híbrida ou associada.

4. REGULAMENTAÇÃO NACIONAL

O modelo institucional do setor elétrico é baseado uma estrutura de governança administrada por órgãos sem fins lucrativos que atuam com diferentes objetivos, de modo integrado e hierarquizado. O órgão responsável pela regulação

do setor elétrico é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Dentre suas atribuições, destaca-se a regulação da geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica e a fiscalização dos serviços de energia elétrica (ANEEL, 2023a).

Para produzir e comercializar a energia elétrica no Brasil, existem duas modalidades regularizadas pela ANEEL, são elas: a geração distribuída (GD) e a geração centralizada (GC). Na geração distribuída, cujo marco legal teve sanção presidencial em 06 de janeiro de 2022, as centrais geradoras de energia elétrica têm sua potência instalada limitada a 3 MW e possui as seguintes subdivisões: microgeração distribuída, para as centrais geradoras de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW, e minigeração distribuída, para as centrais geradoras de energia elétrica com potência instalada maior que 75 kW e menor ou igual a 3 MW (Senado Federal, 2022).

Tabela 4 – Sistemas híbridos/associados em operação no Brasil.

Fonte majoritária (1)	Fonte complementar (2)	Baterias	UF	Potência instalada (1) (MW)	Potência instalada (2) (MW)	Referência
Eólica	FV	Não	PE	80	11	(Camargo, 2015)
Eólica	FV	Não	PI	274,05	68	(Braga, 2021)
Eólica	FV	Não	PA	471,2	149,2 (pico)	(Badra, 2023)
Eólica	FV	Não	RN	2.400	320	(ABEEólica, 2022)

Na geração centralizada, para as centrais geradoras de energia elétrica com potência instalada superior a 3 MW, os agentes de geração, sejam eles pessoa física, jurídica ou consórcio empresarial, podem se enquadrar como Autoprodutor de Energia (APE), quando a produção de energia é destinada ao consumo próprio do agente, ou Produtor Independente de Energia (PIE) quando a produção de energia é destinada à comercialização da energia elétrica no Ambiente de Comercialização Livre (ACL) ou no Ambiente de Comercialização Regulado (ACR).

Por tais atribuições, a ANEEL publica Resoluções Normativas (REN) que, dentre outras ações, estabelecem as diretrizes para diversos temas de sua responsabilidade, como a implantação de novos empreendimentos de geração de energia.

A REN 876, de 10 de março de 2020, foi um marco regulatório que estabeleceu os requisitos e procedimentos necessários à obtenção de outorga de autorização para implantação de centrais geradoras eólicas, FVs, termelétricas e outras fontes alternativas. Esta resolução estabelece os requisitos necessários para a obtenção da Outorga de Autorização, desde a qualificação jurídica do agente solicitante até a qualificação técnica do projeto em questão, que permitem que um agente de geração possa comercializar a energia do empreendimento no ACL.

Assim, no pedido de Outorga de Autorização para implantação e exploração de uma central geradora de energia elétrica, é necessário apresentar à Agência uma série de documentos que serão avaliados por analistas da Superintendência de Concessões e Autorizações de Geração da ANEEL – SCG, departamento responsável pela análise dos pedidos de outorga.

Já para comercialização da energia no ACR, o agente precisa participar de um leilão público de energia, que foram regulamentados no Brasil em 2004 (Casa Civil, 2004) e seguem as diretrizes do Ministério de Minas e Energia (MME). São organizados pela ANEEL e realizados com o apoio da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Para que um projeto possa concorrer em um leilão público, o agente precisa realizar seu cadastro e ser habilitado tecnicamente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Até meados de 2021, a modalidade de implantação das centrais geradoras era sempre tratada com uma única fonte. Entretanto, a REN 954, de 30 de novembro de 2021, foi responsável por estabelecer o tratamento regulatório para a implantação de centrais geradoras híbridas associados.

A principal diferença técnica entre as diferentes tipologias das usinas é a forma de medição das fontes de energia. No caso das usinas adjacentes, das associadas e dos portfólios comerciais, a medição de energia elétrica é feita por fonte geradora. Já nas usinas híbridas não há distinção na medição de energia elétrica.

Do ponto de vista físico, as usinas podem ou não estar localizadas em regiões próximas, uma vez que implantar diferentes tecnologias de geração de energia elétrica em uma mesma localização implica em estudos específicos para otimização de arranjo das unidades geradoras.

Ainda no tema físico, com exceção do portfólio comercial, as demais tipologias de usinas compartilham o mesmo sistema de transmissão de interesse restrito, responsável por transmitir a energia gerada até o ponto de conexão na rede de distribuição ou transmissão.

Já pelo aspecto regulatório, para as usinas adjacentes e os portfólios comerciais, tem-se um contrato de uso do sistema para cada fonte de energia. Nas usinas híbridas e associadas, um único contrato é feito para as duas ou mais modalidades de geração de energia.

Em 6 de dezembro de 2021 foi publicada a REN 954/2021, que estabeleceu o tratamento regulatório para implantação de usinas híbridas e associadas. Dentre os principais conceitos trazidos pela norma, citam-se os incisos V e VI que foram incluídos no art. 3º da REN 876/2020:

V – Central Geradora Híbrida (UGH): instalação de produção de energia elétrica a partir da combinação de diferentes tecnologias de geração, com medições distintas por tecnologia de geração ou não, objeto de outorga única; e

VI – Centrais geradoras associadas: duas ou mais instalações, com a finalidade de produção de energia elétrica com diferentes tecnologias de geração, com outorgas e medições distintas, que compartilham fisicamente e contratualmente a infraestrutura de conexão e uso do sistema de transmissão.

Além das definições para as terminologias, a norma ainda trouxe o conceito da faixa de potência a ser aplicada:

XVI - Faixa de Potência da Central Geradora Híbrida ou das centrais geradoras associadas: faixa de valores de potência compreendida entre a soma das potências elétricas ativas nominais da tecnologia de geração de maior participação na Central Geradora Híbrida ou centrais geradoras associadas, e a soma das potências elétricas ativas nominais de todas as tecnologias de geração.” (NR)

Da mesma forma, a REN 954/2021 também trouxe a definição da Tarifa de Uso do Sistema de Transição (TUST) a ser paga pelos agentes de usinas associadas, que não são objetos de outorga única. A TUST deverá ser calculada como mostra a Equação (1):

$$TUST \text{ associação: } \frac{\sum_{i=1}^n TUSTg_i * MUSTg_i}{\sum_{i=1}^n MUSTg_i} \quad (1)$$

Onde:

TUSTg: É a Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) calculada pela ANEEL para cada central geradora do conjunto associado;

MUSTg: Parcela do Montante de Uso do Sistema de Transmissão (MUST) contratado declarada para cada central geradora do conjunto associado;

i: central geradora do conjunto; e

n: total de centrais geradoras do conjunto.

A REN 954/2021 entrou em vigor em 3 de janeiro de 2022. A Tab. 5 apresenta os Despachos que autorizaram a implantação de centrais geradoras associadas desde a vigência da REN 954/2021 de que se encontrou registro através de Biblioteca Eletrônica da ANEEL. Até o momento, não há registros nas bases de dados de autorizações emitidas para centrais geradoras híbridas.

Em 01 de agosto de 2023 foi publicada a REN 1.068/2023, que, dentre outras providências, estabeleceu em seu art. 3º que fosse incluído no art. 11 da REN 876/2020 o parágrafo 5º, a seguir:

§ 5º O requerimento de associação de centrais geradoras deverá ser realizado diretamente ao NOS, sendo ela efetivada quando da assinatura do CUST, nos termos estabelecidos nas Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica, a partir de 6 meses, contado da data de publicação deste parágrafo.

Esta resolução entrou em vigor em 1º de setembro de 2023. Desde então, a ANEEL não precisou mais ser consultada para autorização de centrais associadas, passando a ser responsável, neste momento, apenas pelas centrais geradoras híbridas.

Em 8 de setembro de 2023 a ANEEL publicou a REN 1.071/2023, que, além de estabelecer “os requisitos e procedimentos necessários à obtenção de outorga de autorização e alteração da capacidade instalada de centrais geradoras Eólicas, FVs, Termelétricas, Híbridas e outras fontes alternativas, bem como à associação de centrais geradoras que contemplem essas tecnologias de geração, e à comunicação de implantação de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida, também revogou a REN 876/2020.

A principal mudança trazida pela REN 1.071/2023 foi a chamada “inversão de fluxo”, termo utilizado para a alteração na ordem dos procedimentos regulatórios de novos empreendimentos de geração trazida pela Resolução.

Durante a vigência da REN 876/2020, os agentes de geração deveriam solicitar primeiramente a Outorga de Autorização na ANEEL para depois solicitar seu documento de acesso e proceder com as assinaturas dos devidos contratos de conexão.

Com a nova resolução, a partir de 1º de março de 2023, os agentes deverão primeiramente solicitar seus documentos de acesso, realizar as assinaturas dos contratos de conexão, para, só então, proceder com a solicitação de Outorga de Autorização na ANEEL.

A REN 1.071/2023 entrou em vigor em 1º de outubro de 2023.

Neste mesmo período, em 1º de setembro de 2023 foi publicada a REN 1.069/2023 que, dentre outras procedências, aprovou a revisão do Módulo 5 das Regras de Serviços de Transmissão. Esta revisão contempla o início do aporte de garantia para solicitação de Parecer de Acesso e para assinatura de Contrato de Uso do Sistema de Transmissão (CUST).

Tabela 5 – Sistemas associados com autorização para implantação no Brasil.

Fonte majoritária (M)	Fonte complementar (C)	Potência fonte M (MW)	Potência fonte C (MW)	Faixa de potência do MUST (MW)	Data do despacho
EOL	UFV	382,25	123	382,25 a 502,85	31/10/2022
EOL	UFV	134,4	59,94	134,4 a 194,34	25/11/2022
EOL	UFV	113,4	29,97	113,4 a 143,37	25/11/2022

EOL	UFV	566,5	563,332	566,5 a 1.129,832	27/02/2023
EOL	UFV	518,7	162,5	518,7 a 681,2	20/04/2023
EOL	UFV	79,8	32,5	79,8 a 112,3	20/04/2023
EOL	UFV	95,19	32,5	79,8 a 112,3	20/04/2023
EOL	UFV	478,8	192,472	478,8 a 671,272	28/08/2023
EOL	UFV	456	136,232	456,0 e 592,232	31/08/2023
EOL	UFV	256,41	50	256,41 a 306,41	14/09/2023

Os valores dos aportes de garantia serão correspondentes a três e quarenta meses de EUST (Encargos de Uso do Sistema de Transmissão) para solicitação do Parecer de Acesso e assinatura do CUST, respectivamente. O EUST é o produto entre o MUST e o TUST (fonte).

Neste cenário de tantas mudanças regulatórias e novos desafios para o setor elétrico, reforça-se a importância de se ter as usinas híbridas e associadas como opções viáveis para agentes de geração e auxiliar no crescimento contínuo das renováveis no país.

5. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

É evidente que as usinas híbridas e associadas estão experimentando uma evolução significativa na regulamentação. A nível global, o crescimento dessas usinas foi impulsionado por políticas públicas de incentivo a diversificação de suas matrizes energéticas.

No Brasil, as usinas híbridas representam uma promissora oportunidade de aproveitar a variedade de recursos disponíveis para geração de energia elétrica. No entanto, a implementação dessas usinas enfrenta desafios significativos, incluindo questões fundiárias, disponibilidade de recursos energéticos e desafios na transmissão e distribuição de energia. Além disso, a regulação desempenha um papel fundamental na viabilidade desses projetos, e as recentes resoluções normativas, como a REN 954/2021 e a REN 1.071/2023, representam mudanças significativas nesse cenário.

As resoluções normativas redefinem a ordem dos procedimentos regulatórios, estabelecendo novos requisitos e prazos para a autorização e implantação de usinas associadas e híbridas. Isso reflete a adaptação da regulamentação à crescente importância dessas tecnologias na matriz energética brasileira. Em resumo, as usinas híbridas e associadas têm potencial para desempenhar um papel crucial na transição global para uma matriz energética mais sustentável, e as mudanças regulatórias recentes estão preparando o terreno para seu crescimento contínuo no Brasil. No entanto, desafios logísticos e operacionais ainda precisam ser superados para aproveitar plenamente esse potencial.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE).

REFERÊNCIAS

- ABEEólica. (2022). *Voltalia inaugura usinas Solar Serra do Mel 1&2*. <https://abeeolica.org.br/voltalia-inaugura-usinas-solar-serra-do-mel-12>
- ABSolar. (2023). *Infográficos ABSolar*. <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>
- Além da Energia. (2020). *Eólica é a segunda maior fonte do Brasil*. <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/energia-eolica-e-segunda-maior-fonte-energetica-brasil/#:~:text=Energia>
- ANEEL. (2020). *Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 002/2020- SRG/SRT/SCG/ANEEL*.
- ANEEL. (2021a). *Nota Técnica nº 048/2021-SRG-SRT-SCG-SGT/ANEEL*.
- ANEEL. (2021b). *Resolução Normativa nº 954/2021*.
- ANEEL. (2022a). *Resolução Normativa nº 1029/2022*.
- ANEEL. (2022b). *VOTO - Resultado da segunda fase da Consulta Pública nº 61/2020, instituída com vistas a colher subsídios e informações adicionais para o aprimoramento da proposta de regulamentação que trata das usinas híbridas e associadas*.
- ANEEL. (2023a). *A ANEEL*. <https://www.gov.br/aneel/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/a-aneel>
- ANEEL. (2023b). *Sistema de Informações de Geração da ANEEL*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjo1Njc4OGYyYjQ0YWM2ZC00YjllWjIYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI1LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBiMSIsImMiOiJrR9>
- Badra, M. (2023). *Complexo no sertão da Paraíba integra geração solar e eólica*. Canal Solar. <https://canalsolar.com.br/complexo-no-sertao-da-paraiba-integra-geracao-solar-e-eolica/>
- Barros, B. F., Borelli, R., & Gedra, R. L. (2016). *Gerenciamento de energia: ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica*. (2ª).
- Bezutti, N. (2022). *Enel aposta em projetos híbridos como alternativa aos combustíveis fósseis para balancear o sistema*. <https://megawhat.energy/noticias/geracao/148192/enel-aposta-em-projetos-hibridos-como-alternativa-aos-combustiveis-fosseis-para-balancear-o->
- Braga, N. B. (2021). *Análise do Potencial de Híbridização e Capacidade de Escoamento no SIN de Usina Eólica-Solar no Estado Brasileiro da Bahia*.

- Camargo, S. (2015). *Inaugurado primeiro parque híbrido de energia renovável do país*. Conexão Planeta.
- Casa Civil. (2004). *Decreto No 5.163 de 30 de julho de 2004*.
- CCEE. (2023). *PROINFA*. <https://www.ccee.org.br/mercado/proinfa#&gid=1&pid=1>
- EPE. (2018). *ESTUDOS DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DA GERAÇÃO - USINAS HÍBRIDAS*. <http://www.epe.gov.br/>
- EPE. (2019). *ESTUDOS DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DA GERAÇÃO - USINAS HÍBRIDAS NO CONTEXTO DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO*. <http://www.epe.gov.br>
- EPE, & MME. (2020). *Plano Nacional de Energia 2050*.
- EPE, & MME. (2023). *BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2023*. <http://www.epe.gov.br>
- ePowerBay. (2023). *O Dia do Perdão - ANEEL REN 1.065*. <https://www.epowerbay.com/single-post/o-dia-do-perdao-aneel-ren-1065>
- Governo de Pernambuco. (2017). *Atlas Eólico e Solar de Pernambuco*. <http://www.atlaseolicosolar.pe.gov.br/chapter/hibrido.html?Capitulo%20IX%20-%20Potencial%20H%C3%ADbrido%20-%20E%C3%B3lico%20e%20Solar%20de%20Pernambuco>
- Guimarães, A. M. D. C., Messias, A. L. B., & Netto, C. C. A. L. (2022). A RESOLUÇÃO 954/2021 E AS VANTAGENS, DESVANTAGENS E DESAFIOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE USINAS HÍBRIDAS E ASSOCIADAS NO BRASIL RESOLUTION 954/2021. *Centro Universitário Curitiba - Unicuritiba*, 35.
- Hein, H. (2023). *Usina solar flutuante entra em operação no interior de MG*. Canal Solar. <https://canalsolar.com.br/usina-solar-flutuante-de-12-mwp-entra-em-operacao-no-interior-de-mg/>
- Luz, A. F. da. (2022). *CENTRAIS GERADORAS HÍBRIDAS E ASSOCIADAS: DESAFIOS, OPORTUNIDADES E O NOVO CENÁRIO PARA PROJETOS RENOVÁVEIS NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA COM A REN 954/2021*.
- Menezes, R. F. A. (2022). “*Programação Diária da Operação e Formação de Preços em Múltiplos Cenários Considerando Sistemas de Armazenamento de Energia por Bateria*.”
- Paiva, L. F. de. (2022). *Usinas híbridas eólico-fotovoltaicas: Uma análise das sinergias e complementaridades*.
- Reis, L. B. D., Fadigas, E. A. F. A., & Carvalho, C. E. (2012). *Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável (2ª)*.
- Ritchie, H., & Rosado, P. (2024). *Energy Mix*. <https://ourworldindata.org/energy-mix#article-citation>
- Santos, B. (2023). *Brasil é o terceiro país com maior potencial de solar flutuante no mundo*. PV Magazine. 28/03/2023, 14:16 Brasil é o terceiro país com maior potencial de solar flutuante no mundo – pv magazine <https://www.pv-magazine-brasil.com/2023/03/22/brasil-e-o-terceiro-pais-com-maior-potencial-de-solar-flutuante-no-mundo/>
- Senado Federal. (2022). *Lei nº 14.300 de 06 de janeiro de 2022*.
- WRI Brasil. (2015). *COP 21 - Conferência das Nações Unidas para Mudanças Climáticas*. <https://wricidades.org/eventos/cop-21-confer%C3%A2ncia-das-na%C3%A7%C3%B5es-unidas-para-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas>

EVALUATION OF THE HYBRIDIZATION OF PHOTOVOLTAIC SOLAR RENEWABLE GENERATION FACILITIES AND THE REGULATORY CHALLENGES FOR COMMERCIALIZATION IN THE CONTEXT OF THE BRAZILIAN ELECTRIC SECTOR.

Abstract. This article analyzes the scenario of hybrid and associated power plants, highlighting the differences between Brazil and other countries in terms of energy matrix and regulation. While Brazil enjoys a variety of natural resources for energy generation, regulation plays a pivotal role in implementing new projects and/or adapting existing power plants. Recently, new normative resolutions, such as REN 954/2021 and REN 1.071/2023, have redefined regulatory procedures for the hybridization of generation facilities, enabling the optimization of transmission network usage contracts and paving the way for sustainable growth in this new project category in the country.

Keywords: Hybrid and Associated Power Plants, Renewable Energies, PV Solar Source, Electric Sector Regulation.