

POTENCIAL PARA COMBINAÇÃO DAS FONTES EÓLICA E SOLAR NA GERAÇÃO ELÉTRICA NO BRASIL

**José Alexandre Ferraz de Andrade Santos¹, Ednildo Andrade Torres²
Caiuby Alves da Costa³**

1. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Escola Politécnica (PEI-EP-UFBA), Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, e-mail: alex_caeel@yahoo.com.br
2. Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica (DEQ-EP-UFBA), Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, e-mail: ednildo@ufba.br
3. Instituto Politécnico da Bahia (IPB), Salvador, Brasil, e-mail: caiuby@globo.com

Resumo

O desafio de gerar energia sustentável e abundante para assegurar o desenvolvimento e prosperidade presente e futuro dos povos é perseguido por muitos países no mundo. As novas energias renováveis são fatores-chave para a transição das atuais matrizes energética e elétrica mundiais, baseadas em combustíveis fósseis, para novas e diversificadas matrizes baseadas em fontes com menores impactos ambientais. Neste contexto, as energias eólica e solar fotovoltaica têm se destacado significativamente nos últimos anos em termos de investimentos, pesquisas e expansão de capacidade instalada mundial. No Brasil, também há necessidade de expansão e diversificação das matrizes energética e elétrica nacionais para segurança de abastecimento e manutenção de matrizes limpas. O objetivo deste trabalho é mostrar o panorama das energias eólica e solar fotovoltaica no Brasil e demonstrar seu latente potencial estratégico de geração centralizada combinada de eletricidade. A metodologia utilizada é o cruzamento de dados e as respectivas análises de estudos oficiais, pesquisas e mapas temáticos e a apresentação de dois projetos-pilotos de parques híbridos: um da EGP (com 80,0 MW eólicos e 11,0 MWp solares) e outro da Renova Energia (com 21,6 MW eólicos e 4,8 MWp solares). Os resultados preliminares indicam uma grande potencialidade para a efetivação de uma futura geração centralizada híbrida, combinando as fontes de energia eólica e solar fotovoltaica em várias regiões do Brasil, destacando-se a Região Nordeste.

Palavras chave: Energia Eólica, Energia Solar Fotovoltaica, Geração Centralizada Combinada, Brasil, Região Nordeste.

1. Introdução

O desenvolvimento industrial, tecnológico e socioeconômico existente no mundo contemporâneo tem sido cada vez maior e mais dinâmico, o que demanda maior disponibilidade de energia para sustentar tal progresso humano. Assim, a necessidade mundial por energia é crescente em termos de oferta e diversificação para atender a respectiva demanda.

Segundo [1], por motivos de planejamento e segurança energética, vários países também buscam a diversificação de suas bases de energias disponíveis para fontes alternativas. Assim, energias consideradas renováveis (eólica, solar, etc.) são opções que vêm se viabilizando economicamente e expandido mais e mais em relação às energias fósseis em vários países.

De acordo com [2], as energias consideradas renováveis são opções que estão se viabilizando economicamente e expandido cada vez mais em relação às energias tradicionais (combustíveis fósseis) em vários países. Com esta expansão, origina-se um mercado em grande escala, permitindo então os avanços tecnológicos sistemáticos e a viabilização de uma significativa redução de custos das novas tecnologias, tornando as energias renováveis mais competitivas e atrativas financeiramente.

As diversas questões referentes à preservação ambiental, mudanças climáticas, avanços de legislação, opinião pública e sustentabilidade têm atuado decisivamente para a expansão da utilização das fontes renováveis. Segundo [3] e [4], as energias renováveis são fundamentais para uma transição energética, reduzindo o uso de combustíveis fósseis e viabilizando uma economia de baixo carbono. Com esta expansão, surge um mercado “em escala” que viabiliza investimentos para avanços tecnológicos sistemáticos e barateamento destas novas tecnologias, tornando as energias renováveis gradativamente mais atrativas. Assim, as fontes de energia eólica e solar têm sido as opções energéticas renováveis que mais se expandem no mundo atualmente.

De acordo com [2] e [1], a Região Nordeste do Brasil apresenta condições singulares de amplo potencial para geração de ambas as energias coincidentemente em várias áreas. Além disto, há complementariedade entre as energias eólica e solar. Isto propicia uma futura geração combinada de energias eólica e solar fotovoltaica, o que poderá potencializar significativamente os ganhos em termos de eficiência e produtividade. Segundo [5] pode-se definir um sistema híbrido de energia (SHE) como “sistema que utiliza mais de uma fonte de energia”, ou de forma mais completa:

“SHE é aquele que, dependendo da disponibilidade dos recursos locais, utiliza mais de uma fonte primária de energia, renovável ou não, para produzir e fornecer energia elétrica a um determinado consumidor, obedecendo aos padrões de qualidade exigidos. O hibridismo das fontes primárias, com ou sem sistema de armazenamento, possibilita, de forma natural ou controlada, que os pontos fracos de uma fonte sejam mitigados ou complementados pelos pontos fortes de outra, permitindo que o sistema seja projetado com a produção de energia maximizada e custos e riscos de interrupções de fornecimento mínimos.” [5]

As referências [6] e [7] comentam que o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) é caracterizado como um grande sistema “hidrotérmico”, pois sua base de geração elétrica ainda são as usinas hidrelétricas (UHE), majoritárias e que fornecem energia mais barata, e as usinas termelétricas (UTE), minoritárias e que fornecem energia mais cara. A predominância das UHE garante que as fontes de energias renováveis no Brasil sejam majoritárias em relação às não renováveis nas matrizes energética e elétrica brasileiras e que sejam bem mais renováveis que as respectivas matrizes mundiais (Figura 1).

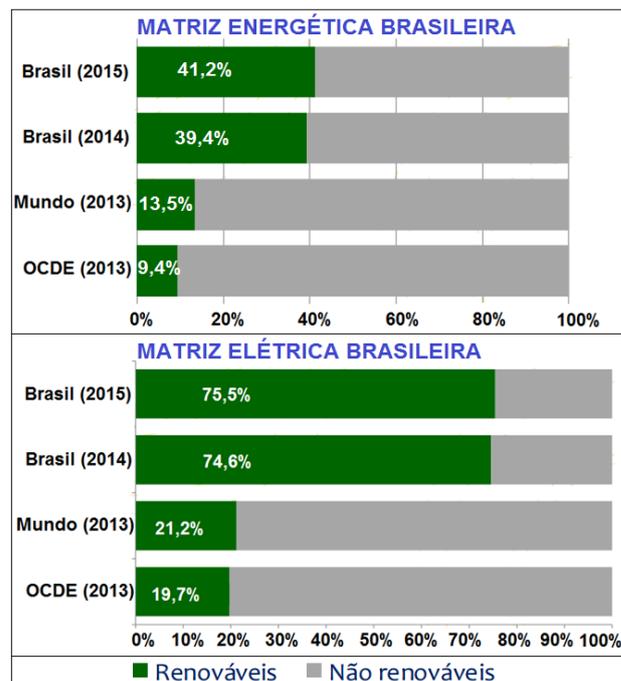


Figura 1: Participação de Energias Renováveis nas Matrizes Energéticas e Elétricas do Brasil e do Mundo [8].

Segundo [9], há enorme potencial de crescimento na inserção de energias eólica e solar no Brasil, por conta da matriz de energia primária nacional ser predominante em energias renováveis, mas a maior parte da eletricidade ser de origem hidráulica.

A partir de 2005, o SEB passou a contratar energia por meio de leilões realizados pelo Governo Federal para suprir a demanda nacional de eletricidade. Surgiram os leilões de energia, que vem viabilizando até o atual momento a

diversificação gradativa das matrizes energética e elétrica brasileiras via inserção de novas fontes de energias renováveis.

A partir de 2009, a expansão da energia eólica no Brasil via leilões tem sido um caso de sucesso. A solar fotovoltaica entrou nos leilões em 2014 e 2015, também tendo uma contratação expressiva. Em 2016, houve uma interrupção destes leilões, mas com perspectiva de retomada em 2017.

Segundo [2], [10] e [11] as energias solar e eólica também apresentam complementariedade estratégica com a geração hidrelétrica. Tais circunstâncias favorecem ainda mais a potencial implantação de geração combinada por meio de parques híbridos nestas localidades.

2. Metodologia

Em suas páginas na internet, os órgãos governamentais do Brasil disponibilizam boletins, relatórios ou outros tipos informativos utilizados como referencial neste estudo, tais como: Balanço Energético Nacional (BEN) 2016, Plano Nacional de Energia (PNE) 2050 entre outros documentos técnicos. Estes documentos técnicos orientam e qualificam o processo de tomada de decisões do planejamento energético nacional. Nas edições mais recentes destes documentos, evidencia-se a relevância crescente das novas fontes renováveis nas Matrizes Energética e Elétrica do Brasil.

O método de pesquisa empregado foi uma pesquisa exploratória documental junto a: Órgãos governamentais, tal como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), subordinada ao Ministério de Minas e Energia (MME); Entidades nacionais e internacionais correlacionadas, tais como a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEOLICA), Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), *Global Wind Energy Council* (GWEC), *International Energy Agency* (IEA); e publicações de pesquisas e artigos disponíveis ao público.

3. Energias Renováveis

De acordo com o *Centro de Referência para Energia Eólica e Solar Sérgio de Salvo Brito* (CRESESB) [12], as fontes de energia usadas para geração elétrica são denominadas “renováveis” (hidroelétrica, eólica, solar, marés, ondas, biomassa e geotérmica) e independem de consumo de um combustível, pois usam energias disponíveis na natureza. Desta forma, estas energias são inesgotáveis. O Brasil utiliza a hidroelétrica, a eólica, a solar, a biomassa e a maremotriz.

O mundo moderno é intensivo no uso de tecnologias e praticamente todas as tecnologias

atuais funcionam baseadas em energia elétrica. Assim, a eletricidade é imprescindível para a humanidade e sua utilização tende a aumentar com o passar do tempo.

Segundo [13], oferta e demanda por energia elétrica no mundo têm sido crescentes e há previsão de significativa ampliação nas capacidades instaladas das energias eólica e solar. A energia eólica reduziu seu custo em cerca de 60% desde 1984 até 2010. Já a energia solar fotovoltaica reduziu seu custo em cerca de 70% de 1998 até 2010. A IEA [3] afirma que os custos de muitas energias renováveis continuam caindo sistematicamente nos últimos anos, especialmente os custos da fotovoltaica. Isto se relaciona ao fato da China passar a investir substancialmente nas fontes eólica e solar, tendo uma atuação importante neste contexto de redução de custos por conta da sua grande escala de produção e do barateamento destas novas tecnologias. Isto também induziu uma queda de preços nos países pertencentes e não pertencentes à *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD).

3.1. Energia Eólica

A energia dos ventos é abundante, limpa, renovável e disponível a custo zero em diversos lugares do Mundo. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [14] órgão regulador do SEB, a “energia eólica” é a energia obtida da energia cinética (de movimento) gerada pela migração das massas de ar (ventos) provocada por diferenças de temperatura na superfície da Terra. O aproveitamento dos ventos acontece via conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o uso de aerogeradores (turbinas eólicas), para a geração de eletricidade. Com a evolução tecnológica e investimentos crescentes em pesquisa e desenvolvimento (P&D), o tamanho dos aerogeradores têm ficado cada vez maior, tornando-os mais potentes, aumentando o fator de capacidade e a eficiência do uso dos ventos, com menores custos.

De acordo com [15], a região atualmente usada para geração de energia eólica atinge algumas dezenas de metros da superfície em direção à atmosfera. Os ventos economicamente viáveis são unidirecionais e com velocidade superior a 6,0 m/s. As usinas eólicas podem ficar localizadas em terra firme (*on-shore*) ou no mar (*off-shore*).

No Brasil, os empreendimentos eólicos são *on-shore* em decorrência da grande disponibilidade áreas. Há destaque na implantação de empreendimentos na Região Nordeste por conta de um elevado potencial eólico e de ampla disponibilidade de terras para arrendamento.

Conforme [15], a energia eólica poderá atingir entre 15% a 18% da geração elétrica global em 2050, chegando entre 2.300,0 GW a 2.800,0 GW de capacidade instalada e evitando emissões de até 4,8 Gt de CO₂/ano. Também se sugere que a produção de energia eólica poderá aumentar muito, talvez chegando a 6.678,0 TWh, com 2.500,0 GW de capacidade instalada em 2030 e até 12.651,0 TWh com 4.814,0 GW em 2050.

Em 2016, segundo [16], a capacidade instalada eólica mundial atingiu 486.790,0 MW (Figura 2), onde houve um crescimento consistente mesmo depois da crise econômica mundial de 2008.

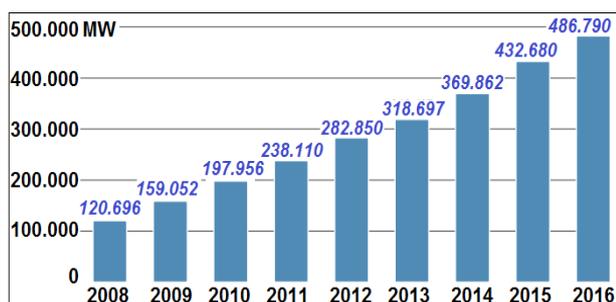


Figura 2: Capacidades instaladas acumuladas anualmente de geração eólica mundial 2008-2016 [16]. Adaptado.

3.2. Energia Solar

Segundo [12], energia solar é energia eletromagnética (radiação) originada do Sol, onde surge das reações nucleares, e que, propagando-se através do espaço interplanetário, incide na superfície da Terra. A potência solar instantânea incidente em um dado ponto é normalmente medida em W/m² (potência/área) e o total de energia em um dia que atinge este ponto é normalmente medido em kWh/m²/dia (energia/área/tempo).

A energia solar é convertida em eletricidade por meio de painéis fotovoltaicos. Basicamente, só é possível produzir eletricidade durante o dia, sendo que a faixa horária de maior produtividade ocorre entre 09:00h e 16:00h e há muita variabilidade para intervalos pequenos de tempo.

Segundo [1], os custos de produção dos painéis ainda são relativamente altos, principalmente em decorrência da pouca disponibilidade de grandes quantidades de materiais semicondutores e dos processos de sua fabricação. Entretanto, este fator está progressivamente desaparecendo com o desenvolvimento tecnológico e a massificação de produção viabilizada pela China.

O avanço tecnológico dos módulos fotovoltaicos, com aprimoramentos de potência e rendimento, e o barateamento dos custos têm sido expressivos nos últimos anos em decorrência dos investimentos sistemáticos e consistentes feitos por vários países. Consequentemente, a energia solar transforma-se

cada vez mais numa solução economicamente viável. Assim, a indústria solar é uma oportunidade estratégica para ampliação da geração elétrica com redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), e a energia solar apresenta-se como uma das mais promissoras fontes de energia renovável.

Até 2050, [17] vislumbra que a tecnologia solar fotovoltaica tenha 4.600,0 GW de capacidade instalada (16% da geração elétrica mundial), produzindo mais de 6.000,0 TWh e evitando a emissão de até 4,0 Gt de CO₂/ano.

Segundo [18], a capacidade instalada fotovoltaica mundial situou-se em 229,3 GW em 2015 (Figura 3), também apresentando crescimento mesmo com a crise econômica mundial de 2008.

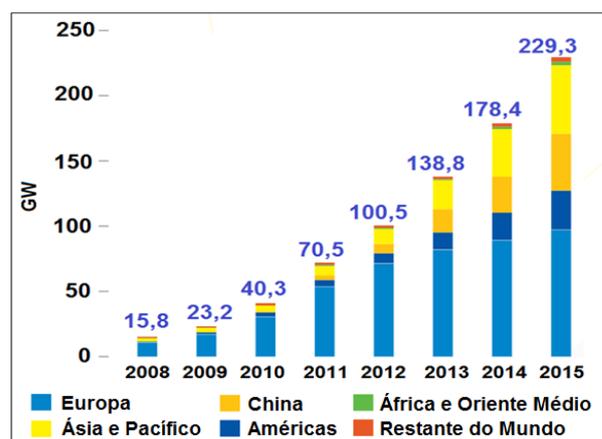


Figura 3: Capacidades instaladas acumuladas anualmente da geração fotovoltaica mundial 2008-2015 [18]. Adaptado.

4. Setor Elétrico Brasileiro

Segundo [6] e [7], no início, o SEB era quase integralmente estatal em suas três partes: geração, transmissão e distribuição de eletricidade. Contudo, foram realizadas reformas no seu modelo institucional nos anos de 1997 e 2004, onde foram criados novos marcos regulatórios e o modelo do SEB passou a permitir maior atuação do capital privado nas três partes.

Depois de uma grave crise no abastecimento de eletricidade em 2001 (Crise do Apagão), o Governo Federal passou a realizar leilões de energia a partir de 2005, por meio do MME, visando ampliar e diversificar gradualmente a matriz elétrica, inserindo inclusive novas fontes energéticas renováveis.

4.1. Marcos Regulatórios e Leilões de Energia

Segundo [19], os leilões de energia elétrica foram estabelecidos pela Lei N° 10.848, de 15/03/2004, e regulamentada pelos Decretos N° 5.163, de 30/08/2004, e N° 6.353, de 16/01/2008, no âmbito das diretrizes para a comercialização de energia elétrica no modelo do SEB a partir de 2004. Estes

leilões introduziram competição entre os agentes de geração na contratação de energia elétrica, atendendo princípios de segurança no abastecimento e de modicidade tarifária, ou seja, a energia contratada a partir desse modelo resultou em aquisições pelo menor preço.

De acordo com [19] e [20], em termos de horizontes de contratação (prazo em anos para entrega da energia), os leilões são classificados em: A-1 (Prazo de 1 ano); A-3 (Prazo de 3 anos); A-5 (Prazo de 5 anos); e Leilões de Ajuste (conforme necessidades extraordinárias). [20] também define os tipos de leilões especiais: Leilão de Energia Nova (LEN); Leilão de Projeto Estruturante (LPE); Leilões de Energia Existente (LEE); Leilão de Energia de Reserva (LER); e Leilão de Fontes Alternativas (LFA). Com base nestes leilões, ocorre o prosseguimento da expansão da capacidade instalada no Brasil (Figura 4).

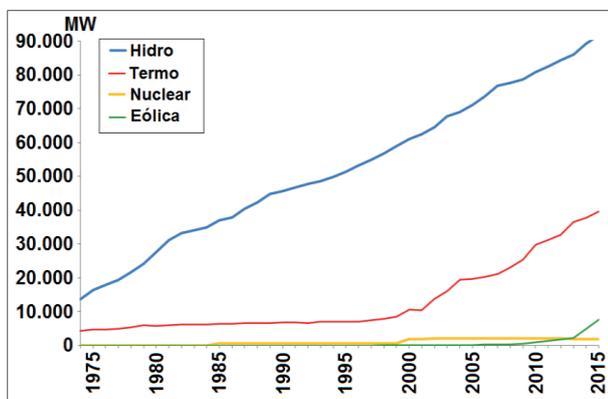


Figura 4: Capacidade instalada no Brasil 1974–2015 [21].

A EPE [19] foi criada em 2004 e elabora os PDEs e PNEs. O PNE 2050 [22] foi elaborado em 2014/2015. Este documento orienta todo o planejamento energético nacional e prevê um crescimento de consumo médio anual de energia elétrica de aproximadamente 3,2%, o que levaria a um consumo total de 1.624,0 TWh em 2050.

Neste contexto, as gerações de eletricidade eólica e solar fotovoltaica poderão contribuir significativamente para que os 1.624,0 TWh estimados para 2050 sejam plenamente supridos.

4.2. Eletricidade no Brasil: Oferta e Demanda

Segundo o BEN 2016 ([8] e [21]), em 2015, a oferta interna de energia elétrica (OIEE) foi de 615,9 TWh e o consumo final 522,8 TWh.

A base de geração hidrelétrica é vulnerável as mudanças climáticas e aos períodos de secas prolongadas. A maior parcela da matriz elétrica brasileira ainda é hídrica, mas a parcela eólica já se faz representativa na composição da matriz e na segurança de abastecimento (Figura 5).

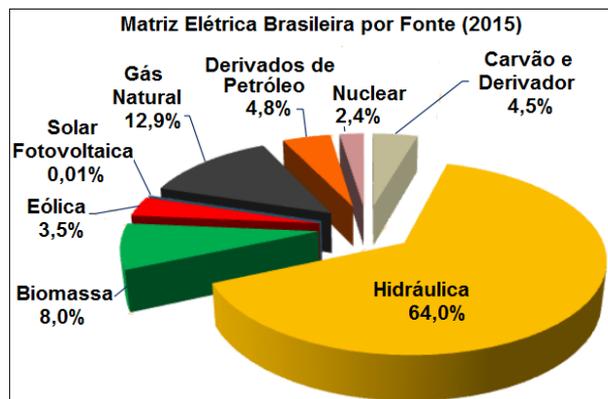


Figura 5: Percentual de cada tipo de geração na Matriz Elétrica do Brasil em 2015 [8].

Atualmente, há uma grave seca flagelando a Região Nordeste e já houve uma situação de seca anterior também muito crítica que resultou na crise do apagão em 2001. Tal vulnerabilidade hidrológica evidencia a necessidade da diversificação de fontes energéticas e ampliação da capacidade de geração no Brasil.

Conforme [1], a participação de energia hidrelétrica na matriz elétrica nacional começou a ser reduzida a partir de 2013 até o momento atual por conta de condições hidrológicas desfavoráveis e, conseqüentemente, houve aumento compulsório e prolongado da geração termelétrica. Isto resultou na redução da percentagem de geração renovável e gerou encarecimento no custo da eletricidade.

4.3. Expansões Eólica e Solar no Brasil

Segundo [23] e [24], a energia eólica ganhou destaque no Brasil a partir 2009. No ano de 2016, conforme [25], o Brasil passou a ter mais de 10,0 GW eólicos de capacidade instalada (Figura 6) e apresentou fator de capacidade médio de 40,7%, superior à média mundial entorno de 25,0%.

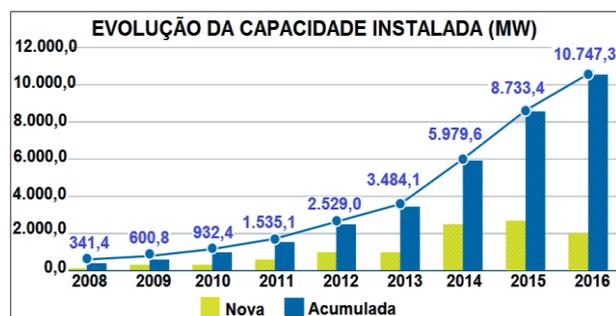


Figura 6: Capacidades instaladas acumuladas anualmente de geração eólica no Brasil 2008-2016 [25].

Já a energia solar fotovoltaica ganhou destaque a partir de 2014, com a realização do 1º LER com a contratação efetiva desta fonte renovável. A ABSOLAR [26] comenta que o Brasil tem imenso potencial ainda inexplorado, onde o potencial técnico seria superior a 28.500,0 GW apenas com

usinas de grande porte, conforme relatório da EPE. Segundo [27], as contratações de projetos solares ocorreram nos LER de 2014 e 2015 (Tabela 1).

Tabela 1: Contratação de Projetos Solares [27]. Adaptada.

Mês/ Ano	Projetos Contra- tados	Capaci- dade Instalada (MW)	Energia Contra- tada (MWe)	Início de Supri- mento	Período Contra- tado (anos)
10/2014	31	890	202	2017	21
08/2015	30	834	232	2017	21
11/2015	33	929	245	2018	21
Total	94	2.653	679		

As fontes eólica e solar apresentaram contratações significativas nos LER do Governo Federal até o ano de 2015. Por conta de uma grave crise econômica brasileira iniciada em 2014 e ainda vigente em 2017, houve uma redução do consumo de eletricidade, o que provocou a não realização de LER em 2016. Apesar desta interrupção, da indefinição de novos LER para 2017 e da perspectiva de uma descontração extraordinária de alguns empreendimentos, os diversos empreendimentos já contratados e o potencial significativo para novos empreendimentos ajudarão a manter as matrizes energética e elétrica brasileiras majoritariamente renováveis.

5. Benefícios e Potencialidades das Energias Solar e Eólica

Além da diversificação de fontes e da ampliação da segurança energética, as energias renováveis também proporcionam outros benefícios econômicos e socioambientais consideráveis.

Em termos econômicos, há investimentos da ordem de bilhões de reais, que dinamizam a economia e incentivam a implantação de cadeias produtivas das indústrias eólica e solar.

Em termos sociais, há criação de empregos. De acordo com [32], a geração de empregos diretos por MW de capacidade instalada é de 15 empregos/MW instalado para a fonte energia eólica (*on-shore*) e 33 empregos/MW instalado para a fonte solar fotovoltaica.

Em termos ambientais há reduções de emissões de GEE e economia de água nas usinas hidrelétricas brasileiras. Segundo [28], a eficiência ambiental das gerações eólica e solar é superior a da geração com combustíveis fósseis, e a eficiência ambiental eólica é superior a solar ao se analisar os ciclos de vida de cada um.

O Brasil possui enorme potencial para a geração das energias eólica e solar. O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro [29] indica um potencial bruto de

143,5 GW, avaliado para torres de 50,0 m de altura. [30] comenta que, segundo estimativas recentes das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS), o potencial seria de 345,0 GW com o vento a 100,0 m de altura. De acordo com [31], os ventos do Brasil tem ótimas características para a geração elétrica (Figura 7): boa velocidade, baixa turbulência e boa uniformidade. Isto possibilita fatores de capacidade de até 50,0% em alguns parques.

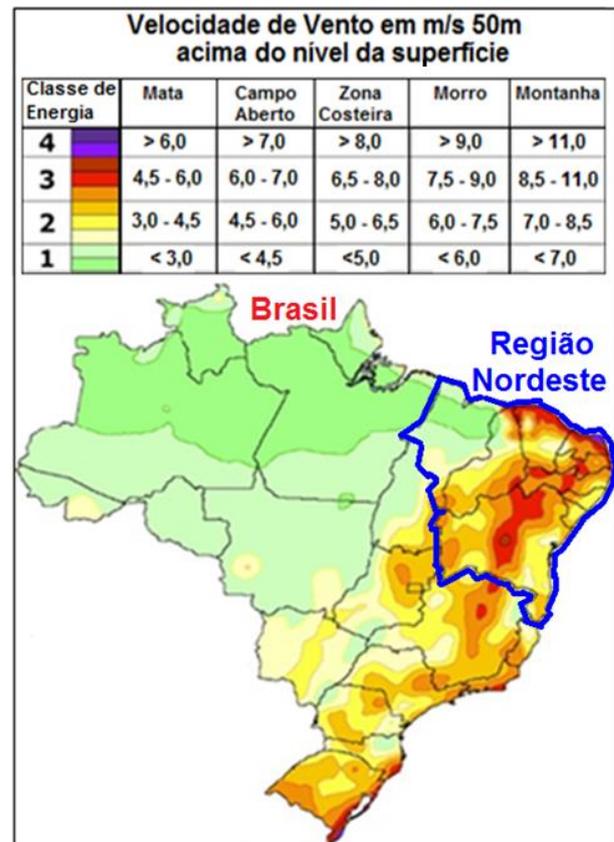


Figura 7: Potencial Eólico no Brasil ([10] Apud [31]). Adaptado.

Os índices de radiação solar do Brasil estão dentre os mais elevados do mundo. De acordo com [12], o Brasil, tendo seu território situado em sua maioria nas latitudes entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, apresenta uma incidência solar bastante favorável, pois não existem grandes variações de radiação solar durante o dia.

Em 2001, conforme [33], foi iniciado no Brasil o Projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) para mapear o potencial energético solar, auxiliar no planejamento de políticas públicas de incentivo a projetos nacionais de energia solar e eólica e atrair o capital de investimentos da iniciativa privada para a área de energias renováveis. Os estudos de [34] e [35] indicam que o alto potencial encontrado no Brasil viabilizaria uma elevada produtividade para a energia solar. Segundo [35], as áreas de maior

irradiação solar são as áreas 5 a 8 (Figura 8), onde a produtividade média variaria entre 1.260,0 e 1.420,0 Wh/Wp/ano, o que significa um fator de capacidade médio entre 14,4 e 16,2%.

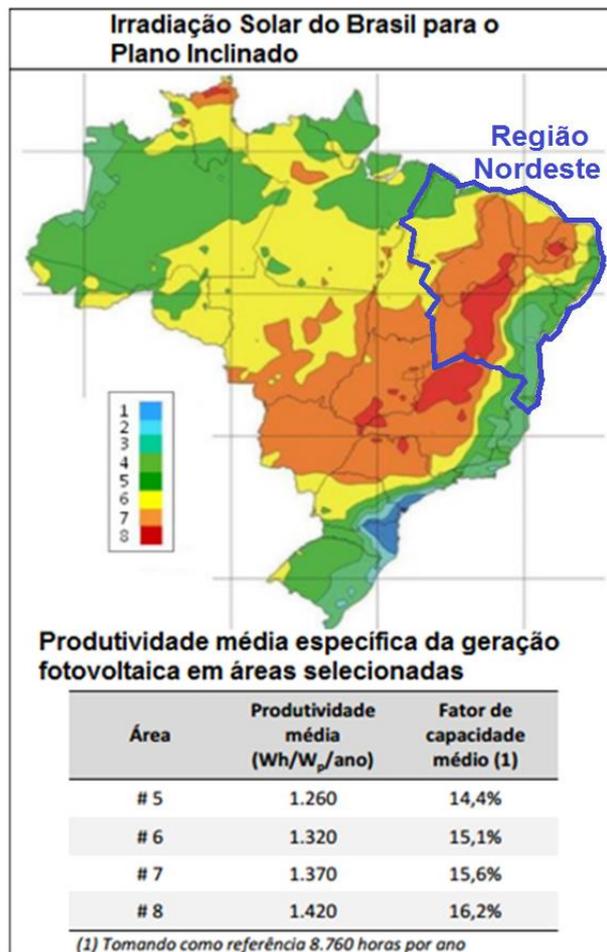


Figura 8: Irradiação (plano inclinado) do Brasil em níveis crescentes de intensidade de 1 a 8 ([35] Apud [34]). Adaptado.

6. Energias Eólica e Solar no Nordeste

Ao comparar os mapas do Brasil nas figuras 7 e 8, observam-se vários locais com sobreposições de elevados potenciais eólicos e solares (Figura 9).

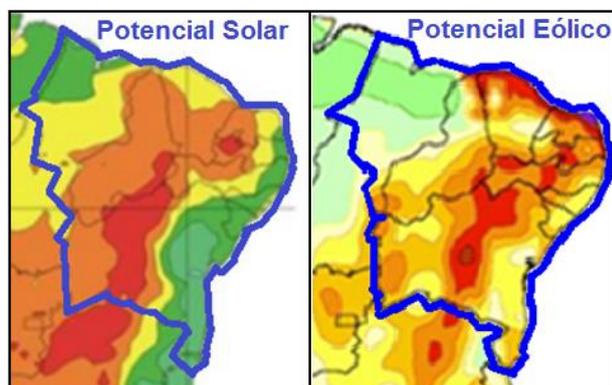


Figura 9: Coincidências geográficas dos elevados potenciais eólicos e solares no Nordeste, especialmente nas áreas avermelhadas e alaranjadas ([31] e [34]). Adaptado.

Destaca-se então que a Região Nordeste possui uma maior quantidade de áreas com potenciais mais elevados para geração elétrica simultaneamente com ambas as fontes energéticas. Segundo [36], a área denominada “Semiárido” nordestino é a que apresenta maiores potenciais e sua maior extensão e coincidências de potenciais encontra-se no Estado da Bahia.

É válido comentar que existem variações das características dos terrenos, indo desde áreas mais planas até áreas com morros e chapadas. Isto implica na necessidade de avaliações específicas adicionais antes da decisão de implantação de parques híbridos.

Atualmente, a Região Nordeste é frequentemente deficitária em termos de oferta de eletricidade para atender sua própria demanda. Há então necessidade de receber energia elétrica adicional das outras regiões. Entretanto, a tendência é que este quadro seja gradativamente revertido com a inserção dos empreendimentos eólicos e solares, os quais apresentam complementariedade em relação às UHE. Os parques eólicos já em funcionamento estão auxiliando no suprimento de eletricidade no Nordeste, compensando as perdas de produtividade das UHE do Rio São Francisco, prejudicadas pela atual seca prolongada. Segundo [37], só com energia eólica espera-se suprir até 57% da demanda elétrica do Nordeste até 2020.

7. Viabilização da Geração Combinada via Parques Híbridos Eólico-Solares

As coincidentes condições dos potenciais energéticos e localização geográfica (Figura 9) são estrategicamente propícias à geração combinada centralizada eólica-solar fotovoltaica no Nordeste Brasileiro. Todavia, faz-se necessário que existam outras condições viabilizadoras desta geração combinada: regularidade e previsibilidade anual das contratações; condições adequadas de financiamento; investimentos em infraestrutura de transmissão; regulação propícia; e investimentos em P&D e formação de recursos humanos (RH).

7.1. Regularidade e Previsibilidade Anual das Contratações

De acordo com [1], a ABEEOLICA [23] e o Governo Federal convergem na opinião de que seria necessária uma contratação mínima de 2.000,0 MW/Ano via leilões para dar viabilidade e sustentabilidade econômicas à cadeia produtiva eólica. Já a ABSOLAR [38] afirma que é necessária uma contratação mínima de 1.000,0 MW/Ano via leilões para viabilizar a implantação

de uma cadeia produtiva solar fotovoltaica no Brasil.

A média anual brasileira de contratação eólica de 2009 até 2015 foi superior aos 2.000,0 MW/Ano e a média anual de contratação solar fotovoltaica de 2014 a 2015 foi superior a 1.000,0 MW/Ano. Em 2016 não houve realização de LER, não havendo então contratações.

7.2. Condições Adequadas de Financiamento

A existência de financiamentos disponíveis para os empreendimentos e cadeias produtivas eólica e solar são fundamentais para dar suporte à expansão contínua da geração elétrica dentro dos prazos previstos e de forma mais independente da flutuação de preços internacionais. Assim, serão necessárias condições favoráveis de financiamentos para empresas e alguns incentivos fiscais iniciais para estas cadeias produtivas.

O principal instrumento atual para financiamento é o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Todavia, em decorrência da atual crise econômica do Brasil, é possível que haja uma abertura para novas modalidades de financiamentos internacionais.

7.3. Investimentos em Infraestrutura de Transmissão

O Brasil possui um conjunto complexo de linhas de transmissão (LT) e subestações, denominado Sistema Interligado Nacional (SIN), que integra os 4 subsistemas elétricos no país: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Estes subsistemas trocam energia entre si via SIN e a coordenação geral é feita pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) [39].

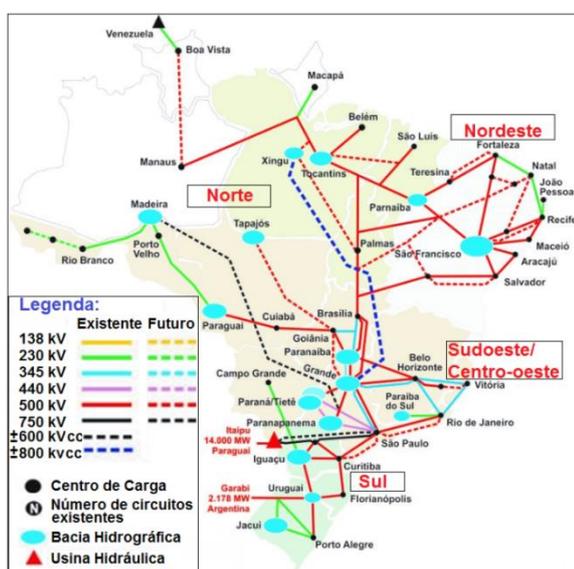


Figura 10: Sistema Interligado Nacional (SIN) apresentado pelo ONS em 2015 [39]. Adaptado.

O SIN cobre quase todo o território nacional, mas encontra-se atualmente sobrecarregado ou próximo ao limite de operação. Sua expansão é realizada também por leilões de LT, mas independentes dos leilões de geração. Algumas vezes os leilões de LT não são bem sucedidos e é comum ocorrerem atrasos nas implantações das LT com relação às licenças ambientais entre outros problemas. Assim, há necessidade de melhorar a eficiência do processo de expansão do SIN.

7.4. Regulação Propícia

O Governo Federal frequentemente apresenta-se errático e inconsistente em relação ao setor energético do Brasil. Além disso, a grande maioria dos órgãos voltados para este setor foi criada há menos de 20 anos e tem pouca autonomia frente ao governo. Assim, as políticas públicas podem mudar drasticamente do mandato de um governo para outro ou até mesmo dentro do mesmo mandato de governo. Há necessidade de aprimoramentos e consolidação das regulações de maneira adequada, transparente, coerente e previsível, oferecendo segurança jurídica para os investimentos de longo prazo.

Em relação à legislação e aos leilões, os procedimentos e regulações ainda são independentes para os empreendimentos eólicos e solares, sendo os projetos híbridos existentes a união de projetos separados ou P&D.

O aprimoramento nos leilões, de forma a contemplar projetos específicos de “usinas híbridas” seria crucial. Para tanto, os prazos de contratação deveriam ser uniformizados para 25 anos, compatibilizando as vidas úteis dos equipamentos eólicos e solares e deveria ser criada a possibilidade de renovação de contratos por mais 25 anos, pois isto incentivaria uma atualização tecnológica total das usinas híbridas por futuros equipamentos mais eficientes. Desta forma, estaria garantida uma futura demanda para as cadeias produtivas e aumentar-se-ia a produção de energia. Analisando o panorama atual, as potencialidades e perspectivas futuras, é possível identificar os seguintes cenários regulatórios: manutenção dos marcos regulatórios atuais; hibridização de parques já existentes; projetos híbridos eólico-solares desde a origem. Nos dois últimos cenários, há necessidade de aprimoramento da regulação vigente para fomentar mais agilmente a geração combinada centralizada eólica-solar no Brasil.

7.5. Investimentos em P&D e Formação de RH

A realização de investimentos em P&D pode gerar tecnologia e *know-how* nacionais e a adequação

das tecnologias eólicas e solares as características tropicais brasileiras. Esta evolução tecnológica poderia aumentar a eficiência de aerogeradores e dos painéis fotovoltaicos. Isto ampliará a produtividade energética das futuras usinas eólicas, solares e híbridas.

Em termos de recursos humanos, ainda existem poucos profissionais tecnicamente qualificados para atuar em todas as áreas das cadeias produtivas destas energias renováveis. Isto pode se tornar um fator limitante para as cadeias produtivas.

8. Sistemas Híbridos de Energia no Brasil

No Brasil, conforme [40], os SHE para geração elétrica são mais conhecidos e aplicados na geração distribuída para uso em comunidades isoladas. Estas comunidades ficam afastadas da infraestrutura existente de transmissão e distribuição de eletricidade, o que torna proibitivo o custo de conexão a esta rede.

Mais recentemente alguns projetos-piloto para geração centralizada combinada têm sido implantados, tais como a colocação de painéis solares flutuantes nos lagos das UHE de Balbina e de Sobradinho, localizados respectivamente nos Estados do Amazonas e Bahia.

De acordo com [41], o uso de SHE para geração elétrica permite benefícios operacionais para os parques geradores. Estes benefícios seriam: aumento da média da energia produzida pelo sistema via complementariedade de fontes energéticas (Ex.: a solar supri os períodos de baixa produção eólica e vice-versa); maior eficiência do sistema; compartilhamento da infraestrutura elétrica (Rede e Subestações); e redução de custos de implantação e operação.

Segundo [42], um ponto fundamental é o correto dimensionamento da relação entre capacidades instaladas eólica X solar para obter o funcionamento otimizado de um parque híbrido. Um modelo genérico [43] de usina híbrida eólica-solar é apresentado na Figura 11:

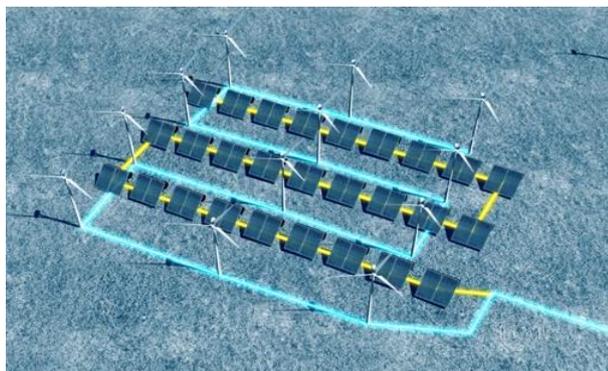


Figura 11: Modelo da geração híbrida eólico-solar [43].

No caso da geração combinada eólica-solar, há atualmente dois projetos-piloto [44], [45]: o parque híbrido da *Enel Green Power* (EGP) e o parque híbrido da Renova Energia, ambos na Região Nordeste.

As informações que serão geradas a partir da operação destes projetos-piloto poderão auxiliar o SEB, a EPE e a ANEEL com relação ao futuro de novos empreendimentos híbridos.

8.1. Parque Híbrido da EGP

A EGP é uma empresa de origem italiana que atua com várias fontes de energia renovável no Brasil. Ela vem ocupando lugar de destaque nos últimos leilões de energia.

Conforme [44] e [45], a EGP implantou no município de Tacaratu, em Pernambuco, um parque eólico com 80,0 MW, em 2014, e mais duas usinas fotovoltaicas, totalizando 11,0 MWp solares, em 2015 (Figura 12 e Tabela 2). O investimento foi de cerca de 148 milhões de dólares e o parque entrou em operação no segundo semestre de 2015.



Figura 12: Parque Híbrido da EGP em Tacaratu [46].

Tabela 2: Descrição do Parque Híbrido da EGP.

Capacidade Instalada	Eólica	80,0 MW
	Solar FV	11,0 MWp
	Total	91,0 MW
Investimentos		U\$ 148 milhões
Quantidade	Painéis FV	35.000
	Aerogeradores	34

Segundo [44], O parque híbrido foi implantado por etapas, onde o parque eólico, denominado Fontes dos Ventos, foi viabilizado primeiro, através do leilão A-3 de 2011. As duas usinas solares, chamadas Fontes Solar I e II, foram comercializadas posteriormente, no leilão regional de Pernambuco em 2013.

Assim, este empreendimento é o exemplo de parque eólico que foi hibridizado com geração solar e corresponde ao primeiro parque híbrido eólico-solar em operação no Brasil, com capacidade instalada 87,9% eólica e 12,1% solar.

8.2. Parque Híbrido da Renova Energia

A Renova Energia é uma empresa brasileira com relevante atuação no setor de energias renováveis. Este parque híbrido localiza-se nos municípios de Caetitê e Igaporã, na Bahia. Nesta região, há altos índices de irradiação solar e baixa temperatura, tornando-a uma das melhores do país para desenvolvimento de projetos solares. Também há excelentes condições de ventos. Por isto, a Renova já tem implantados ou contratados para implantação vários parques eólicos na localidade. Nesta região há complementaridade entre o dia (maior geração solar) e a noite (maior produtividade eólica) e entre as estações do ano. O destino final da energia gerada é a comercialização no mercado livre.

Segundo [44], [45] e [47], o projeto tem capacidade instalada de 26,4 MW (21,6 MW eólicos e 4,8 MWp solares) (Figura 13 e Tabela 3), com capacidade de geração de 12,0 MW médios.



Figura 13: Parque Híbrido da Renova Energia localizado em Caetitê e Igaporã, interior da Bahia [48].

Tabela 3: Descrição do Parque Híbrido da Renova Energia.

Capacidade Instalada	Eólica	21,6 MW
	Solar FV	4,8 MWp
	Total	26,4 MW
Investimentos		U\$ 32 milhões
Quantidade	Painéis FV	19.200
	Aerogeradores	8

Segundo [44] e [45], o projeto foi aprovado como “inovação pioneira” no primeiro semestre de 2014 pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). A FINEP concedeu um financiamento de R\$ 108 milhões (cerca de 32 milhões de dólares para uma cotação de U\$ 1 = R\$ 3,375), com taxa de juros de 3,5% ano e prazo de amortização de dez anos. O parque é composto de uma usina solar, chamada Caetitê Va, e dois parques eólicos, denominados Saboeiro, com 5 aerogeradores, e Jurema Preta, com 3 aerogeradores. As obras foram iniciadas em 2015 e o parque entrou em operação no segundo semestre de 2016.

Este empreendimento é o exemplo de parque que foi projetado desde o início como um parque híbrido, com dimensionamento da capacidade instalada 81,8% eólica e 18,2% solar.

9. Comentários e Conclusões

A geração centralizada combinada por meio de parques híbridos eólico-solares é uma questão bastante recente no Brasil.

Este estudo exploratório apresentou a grande potencialidade para implantação mais ampla de geração centralizada combinada por meio de usinas híbridas eólico-solares fotovoltaicas com base nas particularidades extremamente favoráveis das condições de coincidência geográficas, dos ventos e da insolação no Brasil, especialmente na Região Nordeste e das complementariedades destas fontes energéticas entre si e com as UHE.

As energias renováveis eólica e solar estão se mostrando negócios estratégicos e muito promissores para o Brasil. A energia eólica no Brasil despontou desde o ano de 2009 e permanece com uma trajetória de sucesso e consolidação, inclusive com uma cadeia produtiva quase completa. A energia solar fotovoltaico teve seu marco inicial bem sucedido em 2014, sinalizando que pode crescer tanto quanto a energia eólica. Entretanto, a geração centralizada solar é ainda muito recente no Brasil. Então, será necessário algum tempo e garantias de demanda para haver a instalação de uma cadeia produtiva e surgirem parcerias necessárias entre estas duas cadeias para viabilizar parques híbridos.

A continuidade e regularidade dos LER é o principal fator que pode proporcionar investimentos nestas duas fontes energéticas, fazendo estas fontes evoluírem no mercado energético nacional. Portanto, o Governo Federal deve assegurar esta condição.

A oportunidade estratégica da geração combinada via SHE eólico-solares merece maiores estudos. Posteriormente, os empreendimentos híbridos tenderão a ser viabilizados em prol de uma maior geração efetiva de energia e dos benefícios econômicos, sociais e ambientais para o país.

Neste contexto, a Região Nordeste, destacando-se o semiárido, tem condições privilegiadas para produzir muita energia eólica, solar e combinada. Para tanto, é necessário haver uma atenção do Governo Federal em relação à geração combinada para acelerar a implementação das condições viabilizadoras dos parques híbridos.

Os dois projetos-piloto de parques híbridos eólico-solares servirão de referência inicial para a ANEEL efetivar melhorias de regulação e para a inserção dos SHE em futuros leilões.

Desta forma, a necessidade de expansão e diversificação das matrizes energética e elétrica nacionais poderá ser parcialmente suprida pela de geração combinada por parques híbridos eólico-solares fotovoltaicos, gerando mais segurança de abastecimento, redução de custos e preservação de matrizes limpas.

Referências

- [1] SANTOS, J. A. F. A.. *Planejamento energético para a Bahia em 2050: cenários e discussões relacionados às energias renováveis para geração de eletricidade*. Dissertação, Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 2015.
- [2] DE JONG, P.; SANCHEZ, A. S.; ESQUERRE, K.; KÁLID, R. A.; TORRES, E. A.. *Solar and Wind energy production in relation to the electricity load curve and hydroelectricity in the northeast region of Brazil*. *Renewable and Sustainable-Energy Reviews*, vol. 23, pp. 526–535, 2013.
- [3] IEA (International Energy Agency), IRENA (International Renewable Energy Agency). *Perspectives for the Energy Transition: Investment Needs for a Low-Carbon Energy System*, OECD/IEA e IRENA, 2017.
- [4] PAIVA, I.; DE CASTRO, N.; CLARO, V. M.; HUBACK, V.; CABRAL, S.; SARNEY, M.. *Mudanças Climáticas e Energia Renovável: Desafios e Oportunidades do Setor Elétrico no âmbito dos compromissos pré-2020 da UNFCCC*. In: V Encontro Latino-Americano de Economia da Energia (V ELAEE), Rio de Janeiro, Brasil, 2017.
- [5] BARBOSA, C. F. de O.; PINHO, J. T.; GALHARDO, M. A. B.; PEREIRA, E. J. da S.. *Conceitos sobre Sistemas Híbridos de Energia para Produção de Eletricidade*. In: VI Congresso Brasileiro de Energia Solar (VI CBENS), Belo Horizonte, 2016a.
- [6] DA SILVA, B. G.. *Evolução do setor elétrico brasileiro no contexto econômico nacional: uma análise histórica e econométrica de longo prazo*. Dissertação, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2011.
- [7] D'ARAÚJO, R. P.. *Setor Elétrico Brasileiro: Uma Aventura Mercantil*. 1ª Ed., Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA), 2009.
- [8] EPE (Empresa de Planejamento Energético). *Balanço Energético Nacional 2016 – Relatório Síntese: Ano Base 2015*. Rio de Janeiro, EPE, 2016a.
- [9] MARTINS, F. R., PEREIRA, E. B.. *Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil*. *Energy Policy*, vol. 39, n. 7, pp. 4378–4390, 2011.
- [10] SANTOS, J. A. F. A.; TORRES, E. A.. *Projeções de Expansão da Geração Elétrica por meio da Energia Eólica no Estado da Bahia*. In: 12th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications (INDUSCON 2016), Curitiba, 2016a.
- [11] SANTOS, J. A. F. A.; TORRES, E. A.. *Projeções da Ampliação da Geração Elétrica através da Energia Solar Fotovoltaica na Bahia*. In: X Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (CBPE), Gramado, 2016b.
- [12] CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito). *Informações institucionais*, Rio de Janeiro, 2012. Disponíveis em: <www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em 19/03/2017.
- [13] IEA. *Medium-Term Renewable Energy Market Report 2014 – Market Analysis and Forecasts to 2020*. OECD/IEA, Paris, 2014a.
- [14] ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. ANEEL, 3ª Ed. Brasília, 2008.
- [15] IEA. *Technology Roadmap – Wind Energy*. 2013 edition, OECD/IEA, Paris, 2013.
- [16] GWEC (Global Wind Energy Council). *Global Status of Wind Power 2016: Global Wind 2016 Report*. GWEC, Bruxelas, 2017.
- [17] IEA, *Technology Roadmap – Solar Photovoltaic Energy: Executive Summary*. 2014 edition, IEA, Paris, 2014b.
- [18] SOLAR POWER EUROPE. *Global Market Outlook for Solar Power 2016–2020*. Munich, 2016.
- [19] EPE. Informações institucionais. Rio de Janeiro, 2014a. Disponíveis em: <www.epe.gov.br/acessoainformacao/Paginas/perguntasfrequentes.aspx>. Acesso em 09/05/2017.
- [20] MME (Ministério de Minas e Energia). *Informações institucionais*. Brasília, 2014a. Disponíveis em: <www.mme.gov.br/>. Acesso em 21/04/2017.
- [21] EPE. *Balanço Energético Nacional 2016 – Ano Base 2015*. EPE, Rio de Janeiro, 2016b.
- [22] EPE. *Série Estudos da Demanda de Energia: Nota Técnica DEA 13/14 – Demanda de Energia 2050*. EPE, Plano Nacional de Energia 2050, Rio de Janeiro, 2014b.
- [23] MELO, E.. *Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e*

- competitividade*. Estudos Avançados – Energia, vol. 27, nº. 77, São Paulo, 2013.
- [24] MME. *Boletim: Energia Eólica no Brasil e no Mundo*. Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia, Ed. 22/12/2014, Brasília, 2014.
- [25] ABEEOLICA (Associação Brasileira de Energia Eólica). “Boletim Anual de Geração Eólica 2016”, São Paulo, Brasil, 2017.
- [26] SAUAIA, R. L.. *A Hora e a vez da Energia Solar*. Canal Jornal da Bioenergia, Goiânia, 2017.
- [27] MME. *Energia Solar no Brasil e Mundo Ano de referência – 2015*. Brasília, 2016.
- [28] RUIZ, J. M. A.; VOROBIEFF, C. L.; SILVEIRA, J. L.; TUNA, C. E.. *Análise de Eficiência Ambiental de um Sistema Híbrido Solar Fotovoltaico-Eólico*. VI CBENS, Belo Horizonte, 2016.
- [29] CEPEL (Centro de Pesquisas em Energia Elétrica). *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. CEPEL, Brasília, 2001.
- [30] DE QUEIROZ, L.. *O planejamento e o futuro do setor elétrico brasileiro*. Jornal GGN, 2014.
- [31] FEITOSA, E. A. N. *et al.*. *Panorama do Potencial Eólico no Brasil*. ANEEL, Brasília, 2003.
- [32] SIMAS, M. S.. *Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada*. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Energia da USP, São Paulo, 2012.
- [33] MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. de S.. *Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geostacionário – o Projeto SWERA*. Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol. 26, Nº. 2, pp. 145–159, 2004.
- [34] PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; DE ABREU, S. L.; RÜTHER, R.. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2006.
- [35] EPE. *Nota Técnica: Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira*. EPE, Rio de Janeiro, 2012.
- [36] DA SILVA, G. J. F.; SEVERO, T. E. A.. *Potencial/Aproveitamento de Energia Solar e Eólica no Semiárido Nordestino: Um estudo de caso em Juazeiro-BA nos anos de 2000 a 2009*. Revista Brasileira de Geografia Física, nº. 03, pp. 586–599, 2012.
- [37] DE JONG, P.; DARGAVILLE, R.; SILVER, J.; UTEMBE, S.; KIPERSTOK, A.; TORRES, E. A.. *Forecasting high proportions of wind energy supplying the Brazilian Northeast electricity grid*. Applied Energy, vol. 195, pp. 538–555, 2017.
- [38] ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). *Solar: 1 GWp para começar*. Brasília, 2014.
- [39] ONS (Operador Nacional do Sistema). *Informações Institucionais*. Brasília, 2015.
- [40] BARBOSA, C. F. de O.; PINHO, J. T.; GALHARDO, M. A. B.; PEREIRA, E. J. da S. P.. *Sistemas Híbridos de Energia: Aplicações e Estudos no Brasil*. VI CBENS, Belo Horizonte, Brasil, 2016b.
- [41] TOMELIN, A. C.; DI CASTELNUEVO, Matteo; MIRIELLO, Caterina. *Questões de Pós-implantação de Energia Renovável: Instrumentos Tecnológicos*. X CBPE, Gramado, Brasil, 2016.
- [42] LOUREIRO, B. de A.; TIBA, C.. *Análise da Melhor Relação Eólico-Solar considerando a Complementariedade dos Recursos, Regulações e Incentivos no Brasil*. VI CBENS, Belo Horizonte, 2016.
- [43] JORNAL NACIONAL, “ANEEL contrata projetos novos para geração de energia solar”, 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/videos/t/edicoes/v/v/3846119/>>. Acesso em 15/04/2017.
- [44] LEONI, P. N.; DE CARVALHO, C. R. F.; DE ABREU, L. M.; BARBOSA, D.. *Projeto Híbrido Eólico-Solar: Uma maneira de aumentar a competitividade e ampliar a penetração de projetos solares de grande porte*. Revista O Setor Elétrico, Edição Nº. 134, pp. 59–66, São Paulo, 2017.
- [45] LEONI, P. N.; DE CARVALHO, C. R. F.; DE ABREU, L. M.. *Projeto Híbrido Eólico-Solar: Uma Experiência Prática*. Brazil Windpower 2016, Rio de Janeiro, 2016.
- [46] EGP (Enel Green Power). *Foto da usina híbrida de Tacaratu*. EGP, Niterói, 2016.
- [47] DA SILVA, R. M.. *Energia solar no Brasil: dos incentivos aos desafios*. Núcleo de Estudos e Pesquisas da Consultoria Legislativa, Senado Federal, Brasília, 2015.
- [48] Renova Energia. *Foto da usina híbrida de Caetité-Igaporã*. Renova Energia, São Paulo, 2016.