

A Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: uma Pesquisa Bibliométrica

MARIO ROBERTO DOS SANTOS

JOSÉ LUIZ ROMERO DE BRITO

Introdução

No Brasil, a matriz elétrica brasileira é fortemente influenciada por fontes renováveis, com a hidroeletricidade tendo a maior contribuição. Apesar de todas as vantagens proporcionadas pelo papel da energia hidrelétrica na matriz elétrica, também leva a uma grande dependência do regime de chuvas e do fluxo de água nas bacias hidrográficas. A disponibilidade limitada de recursos hídricos, aumento da demanda por eletricidade e água e pressão sobre o meio ambiente, provocam esforços no sentido de diversificar a matriz elétrica para incluir outras fontes renováveis.

Problema de Pesquisa e Objetivo

Devido à sua vasta área territorial tropical, o Brasil é um dos países com grande potencial de implementação de geração de energia solar fotovoltaica, pois tem uma irradiação média anual superior a maioria dos países europeus, onde a tecnologia fotovoltaica está sendo amplamente explorada e implementada. O país tem também um grande potencial para a mudança de paradigma relacionado ao crescimento de fontes renováveis na rede ao lado das fontes tradicionais.

Assim, o objetivo do estudo foi verificar como a energia solar fotovoltaica no Brasil tem sido abordada na literatura científica.

Fundamentação Teórica

Nos últimos anos, o planejamento operacional dos sistemas elétricos passou por mudanças que envolveram a incorporação de novas características tecnológicas, sociais e ambientais. Um fator importante observado é o uso crescente de diferentes tipos de fontes de energia renováveis. A energia fotovoltaica tem sido identificada como uma das principais fontes de energia na transição de fontes não renováveis para fontes renováveis, considerada como uma fonte de geração de energia limpa e poderá atender a demanda energética tanto no ambiente urbano quanto de empreendimentos em locais de difícil acesso.

Metodologia

Foram realizadas pesquisas na base de dados ScienceDirect utilizando-se as palavras “Brazilian and photovoltaic and energy” e limitadas por tipo “review” e “research”. Essa base foi escolhida por ter periódicos relevantes, classificados no extrato Qualis A1 (2013-2016) como, por exemplo, Energy Policy; Journal of Cleaner Production; Renewable Energy; Renewable and Sustainable Energy Reviews; entre outros, e também por facilidade de acesso. A pesquisa foi realizada entre setembro de 2020 e janeiro de 2021 e tendo como limite os artigos publicados até o ano de 2020.

Análise dos Resultados

Foram encontrados 160 artigos, selecionados 156 e classificados em dez temas em razão dos objetivos e temas desses artigos. Os temas e as respectivas quantidades de artigos foram: tecnologia e equipamentos (49 artigos); sistemas híbridos ou complementares de geração (26); geração de energia solar utilizando edifícios (21); leis, normas, regulamentos, tarifas (19); mercado (11); uso residencial de energia fotovoltaica (11); comparação entre fontes de energias (7); Impactos ambientais (6); educação e treinamento (3); estudos para melhor localização para implantação de usinas fotovoltaicas (3).

Conclusão

O que se verificou foi a grande variedade de temas, destacando-se propostas, como o uso de fontes de energia solar fotovoltaica, em reservatório de usinas hidroelétricas e açudes; na estrutura de edifícios comerciais, residenciais, públicos; no teto de residências; sistemas híbridos eólicos, fotovoltaicos, hidroelétricos; utilizando infraestrutura de parques tecnológicos etc. O desafio atual das economias em desenvolvimento é enfrentar o aumento do consumo e reduzir o impacto do uso de fontes não renováveis, estimulando o avanço das tecnologias que exploram as fontes renováveis de energia.

Referências Bibliográficas

Bellido, M.M.H., Mendonça, H.L., Fonseca, M.V.A., Branco, D.A.C., & Pereira, A.O., Jr. (2020). Maturity-based analysis of emerging technologies in the Brazilian Power Sector. *Journal of Cleaner Production*. Carstens, D.D.S., & Cunha, S.K. (2019). Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. *Energy Policy*. Zomer, C., Custódio, I., Antonioli, A., & Rüther, R. (2020). Performance assessment of partially shaded building-integrated photovoltaic (BIPV) systems in a positive-energy solar energy laboratory building: Architecture perspectives. *Solar Energy*.

Palavras Chave

Energias renováveis, Energia solar fotovoltaica, Geração de energia

A Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: uma Pesquisa Bibliométrica

1 INTRODUÇÃO

Desde que a questão ambiental foi apresentada com intensidade na década de 1980, crescem as preocupações e os estudos sobre os problemas ambientais, assim são formuladas propostas nacionais e globais voltadas para a limitação e redução dos danos ambientais, que envolvem a substituição de fontes fósseis de energia e o aumento do uso de fontes renováveis de energia (Carstens & Cunha, 2019) pois a produção mais limpa de energia elétrica é essencial para que as sociedades sejam mais sustentáveis (Rigo, Siluk, Lacerda, & Rosa, 2019).

A necessidade de energia, no momento, é grande e prevê-se que cresça no futuro, esse aumento da demanda e como supri-la é um dos grandes desafios mundiais (David, Rizol, Machado, & Buccieri, 2020). Isso levou a busca de alternativas de emissão zero, ou seja, energias renováveis para atender essa demanda de energia. O aumento da demanda não é a única causa, o aumento dos preços dos combustíveis fósseis e o aquecimento global estão também, entre os principais fatores para tal busca (Elavarasan, Afridhis, Vijayaraghavan, Subramaniam, & Nurunnabi, 2020).

No Brasil, a matriz elétrica brasileira é fortemente influenciada por fontes renováveis, com a hidroeletricidade tendo a maior contribuição (Carvalho, Pinto, Guardia, & Lima, 2020; Medeiros et al., 2021, Silva et al., 2020). Por outro lado, a matriz energética mundial é predominantemente não renovável, pois utiliza recursos altamente poluentes, principalmente devido às emissões de gases de efeito estufa (Cardoso, Locatelli, Ramalho, & Asgary, 2021).

Apesar de todas as vantagens proporcionadas pelo papel da energia hidrelétrica na matriz elétrica, também leva a uma grande dependência do regime de chuvas e do fluxo de água nas bacias hidrográficas (Campos, Nascimento, & Rütther, 2020; Nascimento & Rütther, 2020). A disponibilidade limitada de recursos hídricos, aumento da demanda por eletricidade e água e pressão sobre o meio ambiente, provocam esforços no sentido de diversificar essa matriz para incluir outras fontes renováveis (Medeiros et al., 2021).

Além disso, o setor de energia também está sujeito a uma série de pressões para a mudança, imposta não só por questões sociais e fatores ambientais, mas também por aspectos tecnológicos refletindo mudanças de paradigmas que prevaleceram durante anos. Conhecido como transição energética, esse processo impulsiona a expansão da geração por meio de fontes limpas e renováveis, com impactos substanciais nos métodos de comercialização de energia (Bellido, Mendonça, Branco, & Pereira, 2020).

Nesse sentido, a transição de energia progride, a combinação de recursos do sistema de energia muda e a energia de fontes não combustíveis torna-se mais proeminente. Esses ‘novos’ recursos são diferentes dos combustíveis fósseis em dois aspectos fundamentais: eles são abundantes ao invés de escassos, mas sua disponibilidade instantânea é limitada, ao invés de serem despacháveis sob demanda (David, Rizol, Machado, & Buccieri, 2020; Kraan, Chappin, Kramer, & Nikolic, 2019). As fontes renováveis de energia são reconhecidas como uma boa alternativa ao uso de combustíveis fósseis (Oliveira, Aquila et al., 2020), pois utilizam recursos naturais que não terão efeitos negativos no meio ambiente gerando energia limpa (David et al., 2020).

Nos últimos anos, a energia solar fotovoltaica tornou-se a forma mais crescente de geração de eletricidade renovável no mundo. Devido à sua vasta área territorial tropical, o Brasil é um dos países com grande potencial de implementação dessa forma

de geração de energia (Carstens & Cunha, 2019; Rosa et al., 2020), pois tem uma irradiação média anual superior a maioria dos países europeus, onde a tecnologia fotovoltaica está sendo amplamente explorada e implementada (Pereira, Jucá, & Carvalho, 2019). O país tem também um grande potencial para a mudança de paradigma relacionado ao crescimento de fontes renováveis na rede ao lado das fontes tradicionais (Martelli, Chimenti, & Nogueira, 2020). Dentro dessa perspectiva, o objetivo deste estudo foi verificar como a energia solar fotovoltaica no Brasil tem sido abordada na literatura científica.

Este artigo está assim organizado, após esta introdução a seção dois apresenta o referencial teórico; a seção três, os procedimentos metodológicos adotados; a seção quatro, os resultados da pesquisa e a seção cinco, as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O uso de energia foi, em grande parte, responsável pelo progresso no bem-estar e na qualidade de vida ao longo dos séculos XX e XXI, oferecendo conforto térmico, higiene, preparação e conservação de alimentos, entretenimento e comunicação (González-Mahecha et al., 2019). Assim, a demanda de energia continua crescendo à medida que o crescimento populacional aumenta, bem como o uso de equipamentos elétricos e as mudanças nos hábitos de consumo, decorrentes de novas tecnologias e novas mentalidades, diversificam o perfil de consumo de energia (Stiubiener, Silva, Trigoso, Benedito, & Teixeira, 2020). Por outro lado, o sistema de energia convencional está enfrentando problemas de esgotamento progressivo dos recursos de energia fóssil e baixa eficiência energética (Cardoso et al., 2021) alterando a preocupação de disponibilidade de recursos (ou seja, reservas de petróleo, gás e carvão) para a disponibilidade instantânea de energia (vento e radiação solar) e a consequente mudança de interesses dos *stakeholders*, tais como formuladores de políticas, empresas e público em geral (Kraan et al., 2019). Pode-se entender como eficiência energética a redução da demanda de energia, ou seja, a energia mais barata e menos consumida conforme Freitas, Cronemberger, Soares e Amorim (2020).

Dentro dessas perspectivas, nos últimos anos, o planejamento operacional dos sistemas elétricos passou por mudanças que envolveram a incorporação de novas características tecnológicas, sociais e ambientais. Um fator importante observado é o uso crescente de diferentes tipos de fontes de energia renováveis. Entre essas fontes, os sistemas fotovoltaicos e eólicos tornaram-se mais acessíveis (Leite, Saavedra, & Oliveira, 2020).

A energia de fontes renováveis tem muitas vantagens sobre as fontes não renováveis. No entanto, as energias renováveis, tais como a eólica e a solar, são totalmente dependentes de recursos naturais cujo comportamento é instável e muda ao longo do dia e das estações (Carvalho et al., 2020).

Sampaio e González (2017) avaliaram de forma mais ampla em sua pesquisa, as vantagens e desvantagens da energia solar:

- a) Vantagens: sistema confiável; baixo custo de operação e manutenção; pouca manutenção; fonte de energia gratuita; energia limpa; alta disponibilidade; a geração pode ser feita mais próxima do consumidor final; não causa impactos ambientais / ambientalmente amigável; tem potencial para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE); silenciosa;
- b) Desvantagens: limitações na disponibilidade de equipamentos no mercado; alto custo inicial; necessária uma área relativamente grande para instalação; alta dependência de desenvolvimento de tecnológico; condições geográficas satisfatórias (irradiação solar).

Assim, a energia fotovoltaica tem sido identificada como uma das principais fontes de energia na transição de fontes não renováveis para fontes renováveis (Garlet, Ribeiro, Savian, & Siluk, 2019; Rigo et al., 2019), considerada como uma fonte de geração de energia limpa (Bellido et al., 2020; David et al., 2020) e poderá atender a demanda energética tanto no ambiente urbano quanto de empreendimentos em locais de difícil acesso (Rosa et al., 2020).

A energia solar fotovoltaica é uma das indústrias que mais crescem (Lima & Garavito, 2019; Sampaio & González, 2017) sendo que a participação da energia solar na produção mundial de energia renovável, deverá crescer de 16%, em 2020, para 47%, em 2050, tornando-se a maior fonte mundial de energia renovável, conforme o *U.S. Energy Information Administration* (EIA, 2021) e mostrado na Figura 1.

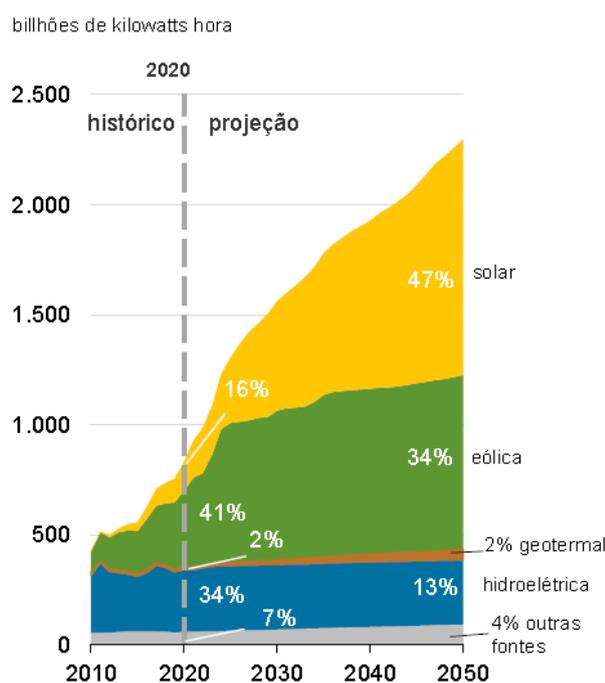


Figura 1 – Projeção da produção de energias renováveis

Fonte: EIA (2021)

No Brasil, o sistema elétrico é uma das maiores redes integradas de energia elétrica do mundo. É um sistema centralizado no qual a eletricidade é gerada em diferentes pontos do território e depois distribuída por meio de um sistema de transmissão estendido. Circunstâncias externas e internas trouxeram mudanças na composição da matriz de geração elétrica ao longo do tempo, levando a uma maior participação das fontes fósseis. Por outro lado, a geração renovável tornou-se componente relevante, graças aos custos decrescentes das novas tecnologias (Martelli et al., 2020) e tem potencial de desempenhar um papel transformador em uma transição energética (Bellido et al., 2020).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020a), considerando-se apenas a geração centralizada, a fonte solar fotovoltaica atingirá, aproximadamente, entre 27 a 90 GW em termos de capacidade instalada e entre 8 a 26 GW médios em termos de energia em 2050, mostrando sua crescente importância na matriz elétrica brasileira, em torno de 5% a 16% da capacidade instalada total ou de 4% a 12% em termos de energia total em 2050.

Embora o Brasil seja particularmente privilegiado pelos elevados níveis de irradiância solar, por suas proporções continentais e localização geográfica, seu grande

potencial para a energia solar ainda apresenta uma participação discreta na matriz elétrica nacional (Debastiani et al., 2020). Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN, 2021) da EPE, a participação da energia solar na oferta interna de energia em 2020 foi somente de 0,3%.

Entre os maiores consumidores de energia, historicamente, os edifícios são responsáveis por uma grande fração do consumo mundial (González-Mahecha et al., 2019; Zomer, Custódio, Antonioli, & Rüther, 2020), em aproximadamente 40% (Nematchoua, Asadi, & Reiter, 2020) e estima-se que continuará aumentando nas próximas décadas (Harkouss, Fardoun, & Biwole, 2018) sendo que um dos fatores é o aumento da temperatura externa resultando em maior consumo de energia para manter a qualidade térmica interna (Guarda et al., 2020).

Nesse contexto, o setor da construção civil busca por fontes alternativas de energia renovável, principalmente a partir da energia solar, para atingir o patamar de consumo zero de energia. O *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV), converte as estruturas externas de edifícios em centrais elétricas locais (Freitas et al., 2020), é uma tecnologia que pode ser amplamente integrada no ambiente urbano (Dávi, Caamaño-Martín, Rüther, & Solano, 2016), pois além de ser uma tecnologia de geração de energia renovável e livre de poluição, os módulos fotovoltaicos podem ser integrados à arquitetura (Zomer et al., 2020).

Os projetos da construção civil têm sido desenvolvidos com foco na sustentabilidade, explorando estratégias passivas, eficiência energética e geração local de energia, pois o grande desafio é reduzir o consumo de energia elétrica das edificações e, por outro lado, tentar suprir sua própria demanda com autogeração (Sorgato, Schneider & Rüther, 2018).

Nessa concepção, quando estratégias de projeto são usadas para reduzir o consumo de energia e os geradores de energia renovável no local fornecem todas as necessidades de energia, o edifício é chamado de energia líquida zero (NZE) ou edifício de energia zero (ZEB), e é um caso típico de geração de energia usando a tecnologia fotovoltaica (Zomer et al., 2020), isto é, oferecer condições de conforto interno, bem como atender a outros requisitos de funcionalidade com o menor consumo de energia possível (Freitas et al., 2020).

A energia líquida zero ou também *net zero energy buildings* (NZEB) foi introduzida para limitar o consumo de energia e as emissões de poluição em edifícios (Harkouss et al., 2018) e se nada for feito, as emissões de GEE de edifícios poderão ser mais do que o dobro nas próximas décadas (Nematchoua et al. (2020). Não há uma definição comum para NZEB, cada um define de acordo com suas necessidades, seus interesses e objetivos a serem alcançados, conforme Harkouss et al. (2018). Uma das definições tradicionais é dada por Torcellini, Pless, Deru e Crawley (2006) em que um edifício com energia zero líquida é residencial ou comercial com necessidades de energia muito reduzidas por meio de ganhos de eficiência, de forma que o equilíbrio das necessidades de energia possa ser suprido com tecnologias renováveis.

Outra forma de geração de energia fotovoltaica é por meio da utilização dos reservatórios das usinas hidrelétricas, espalhados em todo o país que podem se beneficiar de usinas fotovoltaicas flutuantes instaladas na superfície livre da água desses reservatórios. Nos reservatórios, essas usinas flutuantes, aproveitarão a infraestrutura existente e melhorarão as operações. Esse modelo de geração fotovoltaica pode ser aplicado sem restrição às micros e miniusinas, bem como a pequenas centrais hidrelétricas com menores investimentos. A região Nordeste é a área mais promissora do Brasil devido à sua alta irradiação solar e baixas latitudes (Stiubiener et al., 2020).

A geração fotovoltaica distribuída, por exemplo, está se tornando cada vez mais competitiva e tem potencial para contribuir para a redução de emissões, além de gerar benefícios econômicos aos consumidores que a utilizam (Heideier et al., 2020). Fato esse corroborado por Cardoso et al. (2021) que citaram que há evidências de que essa geração distribuída contribui para tornar a matriz energética mais limpa, tem menor impacto na natureza, reduz as perdas de energia elétrica, otimiza a rede de distribuição e conscientiza os consumidores sobre o consumo mais racional de energia.

Outro modelo de geração que se tornou atraente é a geração distribuída por meio de sistemas de pequena escala no qual o consumidor tem a possibilidade de gerar parte ou toda a energia consumida. Embora esse modelo de geração seja atraente para muitos consumidores, sistemas de apoio financeiros são necessários para baratear a tecnologia no longo prazo e atrair esses consumidores (Nascimento & Rüther, 2020; Oliveira, Aquila et al., 2020).

Nos últimos anos, houve algumas iniciativas que visam a criação e o estudo de sistemas híbridos de energia para geração centralizada. Entre as tecnologias de energias renováveis, a combinação da energia eólica e solar fotovoltaica, quando existe complementaridade, surge como possibilidade de produção de eletricidade (Santos, Jong, Costa, & Torres, 2020). Fato esse corroborado por Campos et al. (2020) que citaram que as fontes solar e eólica juntas foram responsáveis por mais da metade da geração de eletricidade do Nordeste brasileiro em 2019.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo caracteriza-se como descritivo, com abordagens qualitativas, por meio de análise de conteúdo (Bardin, 2009). Uma revisão de literatura é um atributo efetivo de uma pesquisa acadêmica. Uma revisão eficaz institui uma base sólida para o avanço do conhecimento. Facilita o desenvolvimento da teoria, consolida áreas onde existe abundância de pesquisas e descobre áreas onde a pesquisa é imprescindível (Webster & Watson, 2002).

Foram realizadas pesquisas na base de dados *ScienceDirect* utilizando-se as palavras “*Brazilian and photovoltaic and energy*” e limitadas por tipo “*review*” e “*research*”. Essa base foi escolhida por ter periódicos relevantes, classificados no extrato Qualis A1 (2013-2016) como, por exemplo, *Energy Policy*; *Journal of Cleaner Production*; *Renewable Energy*; *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; entre outros, e também por facilidade de acesso. A pesquisa foi realizada entre setembro de 2020 e janeiro de 2021 e tendo como limite os artigos publicados até o ano de 2020.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram encontrados 160 artigos, após a leitura dos títulos para verificar se estes se enquadravam no objeto do estudo, foram lidos os *abstracts* e, posteriormente, os artigos. Depois dessa verificação, foram selecionados os artigos que tratavam do tema, restando 156 artigos. Foram descartados quatro artigos: sistemas solares fotovoltaicos para residências na cidade de Lagos, Nigéria; reutilização de resíduos de construção para produção de sensor termoluminescente; opções de armazenamento de energia hidrelétrica e de energia para gás; e análise de geração de energia em pequena escala: gaseificador Downdraft.

Os artigos encontrados na pesquisa apresentaram crescimento nas publicações a partir do ano de 2013, como mostrado na Figura 2.



Figura 2 – Quantidade de artigos por ano

Fonte: Dados da pesquisa

O aumento do interesse de pesquisas nesse campo no período 2017-2020, coincide com a expansão de 92,1% da geração de energia pelos sistemas fotovoltaicos no Brasil, entre os anos 2018 e 2019 (EPE, 2020b).

Quanto aos periódicos, a Tabela 1 mostra os periódicos com frequência duas ou mais e os respectivos fatores de impacto. Nota-se que os periódicos que mais aparecem nas pesquisas, apresentam o fator de impacto 1.810 ou superior.

Tabela 1 – Fator de impacto dos periódicos com mais de dois artigos publicados

Nº	Periódico	Qtidade	Fator de Impacto
1	Renewable Energy	27	6.274
2	Solar Energy	21	4.608
3	Renewable and Sustainable Energy Reviews	17	12.110
4	Energy Policy	17	5.042
5	Journal of Cleaner Production	12	7.246
6	Energy and Buildings	13	4.867
7	Energy	7	6.082
8	Energy Procedia	5	1.810
9	Energy Conversion and Management	5	8.208
10	International Journal of Hydrogen Energy	5	4.939
11	Energy for Sustainable Development	3	3.610
12	Applied Energy	2	8.848
13	Measurement	2	3.364
14	International Journal of Electrical Power & Energy Systems	2	3.588
15	Utilities Policy	2	1.835
	Total	140	

Fonte: Dados da pesquisa

Quanto a autoria, 628 autores participaram dos artigos, com a média de quatro autores por artigo, sendo que um artigo contou com doze autores. Merece destaque a participação expressiva do Prof. Ricardo Rüther, da Universidade Federal de Santa Catarina que participou de 31 artigos, isto é, praticamente 20% da produção no período da base avaliada. Na sequência com a participação em cinco artigos os autores C. Zomer, L. C. Lima, L. R. Nascimento, P. C. M. Carvalho, R. Schaeffer, e com quatro artigos C. E. C. Nogueira, D. A. C. Branco, E. O. Pamplona, G. Aquila, J. C. M. Siluk, e R. A. Campos.

4.1 Artigos avaliados

Os artigos foram classificados em dez temas, conforme mostrado na Tabela 2, em razão dos objetivos e temas dos artigos.

Tabela 2 – Temas dos artigos avaliados

Nº	Temas	Qtidade
1	Tecnologia e equipamentos	49
2	Sistemas híbridos e/ou complementares de geração	26
3	Geração de energia solar utilizando edifícios	21
4	Leis, normas, regulamentos, tarifas	19
5	Mercado	11
6	Uso residencial de energia fotovoltaica	11
7	Comparação entre fontes de energias	7
8	Impactos ambientais	6
9	Educação e Treinamento	3
10	Estudos para melhor localização para implantação de usinas fotovoltaicas	3
	Total	156

Fonte: Dados da pesquisa

O tema tecnologia e equipamentos com 49 artigos, apresentou uma série de pesquisas entre as quais podem-se destacar: desenvolvimento e avaliação de tecnologias; degradação, impacto e avaliação de sujeira nos módulos; sistemas fotovoltaicos flutuantes; detecção de falhas em usinas fotovoltaicas; otimização de fontes de energia renováveis intermitentes; viabilidade técnico-econômica; rastreamento solar de um e dois eixos; dimensionamento de inversores; detecção e diagnóstico de falhas; captação de energia térmica residual; sistema modular *Internet of Things* (IoT) de monitoramento; energia solar fotovoltaica em pequena escala; potencial dos parques tecnológicos na implantação do *Roof Mosaic*; redução da eficiência das células solares em locais mais quentes; energia solar em forma de luz; sistemas de armazenamentos de energia; sistema de monitoramento em nuvem; análise econômica de sistemas distribuídos conectados à rede com e sem bateria; sistema de aspersão com resfriamento de água sobre os módulos fotovoltaicos; desempenho da energia fotovoltaica; desenvolvimento e evolução dos sistemas fotovoltaicos; energia solar para a diversificação da matriz elétrica; comparação entre painel estático e painel de um eixo; sistema de bombeamento de água acionado por painéis fotovoltaicos; geração de energia elétrica em tempo real de um painel fotovoltaico; instrumental para teste de inversor; custos de geração de energia de usinas fotovoltaicas e de carvão; geração de hidrogênio eletrolítico por meio do auxílio de painéis de células fotovoltaicas; radiação solar no Nordeste do Brasil; valores de insolação diários derivados de satélite; redução de custo de células e módulos solares.

O tema sistemas híbridos ou complementares de geração, com 26 artigos, revelou pesquisas em desenvolvimento, construção, complementaridade, eficiência entre a geração eólica e fotovoltaica e gargalos na transmissão; risco financeiro em projetos de energia; viabilidade de energia renovável; sistema híbrido de armazenamento fotovoltaico e bombeado; sistema híbrido customizado com células fotovoltaicas orgânicas; complementaridade entre as fontes solar, eólica e marés; geradores híbridos solares fotovoltaicos-diesel; geração híbrida integrada a usinas de cana-de-açúcar; produção de gado de corte integrada com energia de células solares e biodigestores; análise de risco na geração de energia hídrica, eólica e solar; sistema híbrido de energia para a Estação Antártica Brasileira; sistema autônomo de energia híbrida fotovoltaico-eólica com armazenamento em bateria; sistema híbrido que combina módulos fotovoltaicos e digestores de combustível; células fotovoltaicas e células a combustível para fornecimento contínuo de energia; complementaridade entre energia hidrelétrica e

fotovoltaica; sistemas fotovoltaicos com armazenamento de energia conectados a geradores a diesel.

Geração de energia solar utilizando edifícios, com 21 artigos, exibiu pesquisas de potencial e desempenho de sistemas fotovoltaicos integrados em edifícios de escritórios públicos, privados e residenciais; mudanças climáticas afetam as *Zero Energy Building* (ZEB); Laboratório Fotovoltaica / UFSC pode ser uma ZEB; análise econômica, influência dos sombreamentos parciais no desempenho de sistemas BIPV; limitações e níveis de irradiação solar recebidos por superfícies de edifícios; geração de energia de janelas fotovoltaicas semitransparentes em edifícios; potencial solar de rendimento para diferentes superfícies; uso de sistemas fotovoltaicos em aeroportos; geração de energia fotovoltaica predial integrada conectada à rede.

Leis, normas, regulamentos, tarifas, com 19 artigos, apresentaram pesquisas de impactos econômicos, ambientais, sociais, políticos e dos investimentos na energia fotovoltaica; expansão do uso de fontes renováveis de energia para atender às metas do INDC; sistemas fotovoltaicos e sistemas de armazenamento de energia; eletricidade solar fotovoltaica no Brasil, desafios e oportunidades; evolução da geração solar fotovoltaica distribuída (GD); evolução dos incentivos regulatórios ao uso da energia solar fotovoltaica; papel das instituições reguladoras no possível *lock-in* à fotovoltaica; resposta à demanda baseada em preços e geração distribuída fotovoltaica; retornos e riscos do projeto de microgeração por sistemas solares fotovoltaicos; políticas energéticas chinesas e brasileiras não se concentraram na implantação de energia solar concentrada; identificar entre treze países aqueles com as melhores oportunidades de investimento; Resolução RN482 / 2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL; impactos de leilões da geração centralizada de energia solar; estudo técnico e econômico sobre uma usina solar instalada em uma comunidade isolada; situação e perspectivas futuras da Energia solar fotovoltaica; indústria de equipamentos fotovoltaicos no Brasil.

O tema mercado, com onze artigos, apresentou as pesquisas de conexões entre os principais participantes do mercado de eletricidade; panorama da geração distribuída de energia fotovoltaica e as barreiras para difusão; barreiras e motivadores para a introdução da tecnologia solar fotovoltaica; desenvolvimento do setor fotovoltaico brasileiro; potencial da geração de energia solar fotovoltaica; potencial de geração fotovoltaica integrada e conectada à rede; cenários energéticos para aplicações fotovoltaicas no Brasil; avaliação dos recursos de energia solar gerados no projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA); diferentes usos das energias renováveis na América Latina com foco no Brasil.

Uso residencial de energia fotovoltaica, com onze artigos, mostrou pesquisas sobre impacto econômico nas tarifas residenciais em transição para sistemas de geração fotovoltaica distribuída; relação custo-benefício das oportunidades de abatimento para reduzir as emissões de CO₂ no setor residencial brasileiro; cenários de consumo de energia, geração e pico de demanda e a quantidade ideal de painéis fotovoltaicos; demanda residencial mínima mensal para os consumidores; projeção da difusão de sistemas fotovoltaicos em consumidores residenciais; geração distribuída para consumidor como microgerador; análise econômica de projetos do programa “Minha Casa Minha Vida”; painéis solares fotovoltaicos como uma alternativa no contexto da crise energética brasileira; potencial técnico-econômico para a energia solar fotovoltaica no setor residencial; sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede no setor residencial.

O tema comparação entre fontes de energias, com sete artigos mostrou a comparação dos resultados do concurso para energia eólica e fotovoltaica; vantagens e desvantagens dos processos de interconexão de sistemas entre o Brasil e países sul-americanos; oferta de tecnologias renováveis na Argentina, no Brasil, Chile e México;

como a produção de energia renovável pode ser mantida no sistema brasileiro; viabilidade econômica das tecnologias de energia renovável - eólica, solar fotovoltaica, térmico solar concentrada, biomassa e energia das ondas - com tecnologias de geração tradicionais; evolução temporal do balanço energético de tecnologias de conversão de energia fotovoltaica, eólica e bioetanol de cana-de-açúcar.

Impactos ambientais, com seis artigos, apresentou o efeito da mistura energética em 150 países sobre três impactos ambientais; tempo de retorno do carbono de uma usina fotovoltaica; impactos espectrais sobre o desempenho de sistemas fotovoltaicos de nova geração; ciclo de vida das emissões de energia e gases de efeito estufa; custos energéticos e emissões de CO₂ na fabricação de módulos fotovoltaicos; redução de gases de efeito estufa no ciclo de vida de um sistema de energia fotovoltaico.

O tema educação e treinamento apresentou três pesquisas sobre a experiência da etnia Kalapalo na aldeia Aiha (Terra Indígena Xingu), com energia fotovoltaica em ambiente escolar; aplicação da aprendizagem como forma de incluir as disciplinas de energias renováveis em sala de aula; avaliação do curso de instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos realizado pelos alunos na Universidade Federal de Pernambuco.

Os estudos para melhor localização para implantação de usinas fotovoltaicas mostraram em três artigos a adequação e o posicionamento de áreas para usinas fotovoltaicas nos estados de Minas Gerais e São Paulo; modelo para indicar o melhor local para implantação de usinas fotovoltaicas de grande porte; modelagem matemática para medir o nível de competitividade dos municípios para a instalação fotovoltaica.

4.2 Discussões

A importância de incluir os efeitos das tendências climáticas na avaliação de futuros projetos de energia foi enfatizada por Medeiros et al. (2021) e podem ser direcionados para o desenvolvimento de estratégias de investimento relacionadas à energia. Algumas áreas, como as regiões semiáridas, são mais vulneráveis às mudanças climáticas e não considerar as tendências climáticas pode comprometer a viabilidade dos sistemas de energia renovável e levar a perdas econômicas e ambientais (Medeiros et al., 2021).

Guarda et al. (2020) também advertiram sobre os impactos das mudanças climáticas na vulnerabilidade de edifícios com relação a configuração de sistemas de energia renovável para atingir o saldo líquido. O dimensionamento feito para os dias atuais, além de efêmero, demonstra o problema de geração de energia que será enfrentado nos próximos anos, o que demonstra a viabilidade e necessidade de instalação de energias renováveis com dimensionamento adequado. Nesse aspecto, um grande desafio e tendência para construções sustentáveis é reduzir o consumo de energia elétrica e, ao mesmo tempo, tentar suprir sua própria demanda de energia com autogeração (Sorgato et al., 2018). Zomer et al. (2020) sugeriram que os módulos fotovoltaicos podem ser usados na arquitetura e ou materiais de integração arquitetônica. Sorgato et al. (2018) citaram que é possível atender à demanda líquida anual de energia de um edifício comercial respeitando algumas condições específicas nos sistemas BIPV. Sob o ângulo educacional, a disseminação de sistemas fotovoltaicos integrados em edifícios deve ser beneficiada pela educação profissional de arquitetos e estudantes nessa área ((Sampaio & González, 2017).

Debastiani et al. (2020) lembraram que a utilização de pequenos aerogeradores associados de forma híbrida a painéis fotovoltaicos não é de grande interesse quando avaliada em escala comercial, mas pode parecer uma alternativa atraente quando instalada em áreas isoladas, tendo em vista a atual consciência ambiental da energia que está sendo gerada, pois ambos não geram resíduos nem requerem grandes áreas para instalação.

Corroborando com os autores, Figueiredo e Rossi (2019) citaram que os sistemas fotovoltaicos são considerados uma boa alternativa para o fornecimento de energia em áreas rurais com comunidades indígenas e como consequência provocaram melhorias significativas tanto nas condições de ensino local e como na comunidade em geral.

Fossile, Frej, Costa, Lima, Almeida (2020) avaliaram o uso de energia fotovoltaica em portos e concluíram que a energia fotovoltaica é a fonte de energia renovável mais viável para os portos brasileiros investirem.

Uma das opções para aumentar a participação da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira, segundo Rigo et al. (2019), é investir na geração distribuída de pequena escala. Porém, essa geração representa menos de 0,3% da demanda consumida no mercado cativo do país. Mesmo que os consumidores brasileiros tenham interesse em adquirir sistemas fotovoltaicos, vender o sistema ainda é um desafio para o setor, uma vez que a taxa de conversão das vendas representou apenas 6,88% em 2018.

Segundo Leite et al. (2020), a alta variabilidade das fontes de energia renováveis é uma das principais barreiras ao seu uso eficiente e disponibilidade em microrredes isoladas. Microrredes são pequenos sistemas de distribuição elétrica com crescente participação de fontes renováveis. Bellido et al. (2020) citaram que o desenvolvimento crescente das tecnologias pode impulsionar a expansão mais rápida da microrrede.

Para o monitoramento das usinas fotovoltaicas Oliveira, Aghaei e Rütther (2020), sugeriram o sistema de termografia infravermelha aérea (aIRT) que é um método não destrutivo, sem tempo de inatividade, rápido e econômico para monitorar usinas fotovoltaicas em grande escala e auxiliar na detecção de falhas. O uso de técnicas de aIRT visa aumentar a qualidade e a vida útil de usinas fotovoltaicas, especialmente em países ensolarados e em desenvolvimento como o Brasil, onde há escassez de mão de obra especializada e os custos de um sistema de supervisão detalhado de usinas fotovoltaicas são altos. Outra forma de monitoramento foi proposta por Pereira et al. (2019) um sistema utilizando *software* e *hardware* gratuitos, por intermédio do conceito de IoT, com o objetivo de modularizar, reduzir custos e fazer com que o sistema de monitoramento *online* seja prático e rápido no processamento de dados.

Com relação a geração por meio de fontes híbridas, segundo Santos et al. (2020), há um grande potencial para a implantação de usinas híbridas eólicas-fotovoltaicas centralizadas. Constataram que no semiárido brasileiro existem características altamente favoráveis de altas velocidades dos ventos e excelentes condições de irradiação solar. Além disso, há complementaridade entre essas fontes de energia e também com as hidrelétricas existentes. No entanto, a possibilidade de geração a partir de sistemas híbridos de energia eólica-fotovoltaica centralizados é uma questão relativamente recente e não está prevista no atual regulamento nacional.

Campos et al. (2020) propuseram uma combinação de geração de 40% eólica e de 60% solar, citando que é o *mix* de portfólio ideal para atender a carga da região Nordeste do Brasil. Essa combinação é resultado de duas particularidades da região: o aumento da demanda diurna, coincidindo com a geração solar fotovoltaica, e a curva de demanda; e o predomínio da geração eólica ao entardecer e ao longo da noite.

Quanto a energia solar para residências, González-Mahecha et al. (2019) mencionaram que a eficiência energética no setor residencial é uma medida fundamental para reduzir as emissões de CO₂. Existe um amplo leque de opções tecnológicas que podem economizar energia e, conseqüentemente, mitigar as emissões de GEE no Brasil. No entanto, a implementação de tais medidas no setor residencial enfrenta barreiras que devem ser superadas para atingir esse potencial. Essas barreiras podem estar relacionadas ao mercado, aos custos de energia, às questões financeiras, tecnológicas e culturais ou de

informação. O desenho de políticas, programas e instrumentos apropriados podem remover as barreiras que prevalecem no setor.

Para o desenvolvimento do setor, Carstens e Cunha (2019) citaram que, para o crescimento da energia fotovoltaica no país, entre as principais questões, está a necessidade do estabelecimento de políticas específicas para tecnologias de energia fotovoltaica, incluindo objetivos claros de longo prazo, incentivos fiscais e financeiros. A falta de desenvolvimento de novas tecnologias, a baixa transferência de conhecimento, a escassez de profissionais qualificados e o pequeno mercado interno completam os principais desafios para esse crescimento.

Nesse sentido, Martelli et al. (2020), analisaram os fatores mais importantes e incertos no horizonte de cinco anos e concluíram a ser as políticas de desenvolvimento e as políticas de energia elétrica. Segundo os autores, as políticas de desenvolvimento podem apontar para um mercado mundial aberto ou para o protecionismo e as políticas de energia elétrica poderiam manter o mercado tradicional centralizado protegido ou criar condições para modelos de negócios alternativos.

Outro aspecto observado por Carstens e Cunha (2019), é o potencial de geração de energia solar, considerando o vasto território e a alta irradiância solar, o Brasil tem potencial para aumentar substancialmente a geração de energia a partir da energia fotovoltaica, capaz de gerar dezenas de milhares de GWh somente com essa fonte de energia. Os autores também ressaltaram que o país possui grandes reservas de silício, material indispensável para a produção dos módulos para a geração de energia solar.

Rosa et al. (2020) alertaram que identificar os desafios e as oportunidades para o crescimento fotovoltaico impactam positivamente o desempenho geral da geração de energia solar no Brasil. O incentivo à instalação de sistemas solares, por meio de políticas públicas baseadas em ações de subsídio, beneficia a sociedade como um todo, por meio do impacto sobre o percentual de fontes renováveis na matriz elétrica do país e consequente diminuição da dependência das fontes hídricas, aumento da oferta de empregos nas cidades, do poder aquisitivo dos consumidores, redução dos índices de poluição ambiental e do consequente avanço das pesquisas na área de energia solar.

Em períodos de seca ou alta demanda, as usinas hidrelétricas não atendem a demanda e fica na dependência das termelétricas movidas a combustíveis fósseis, portanto, uma expansão em grande escala das fotovoltaicas poderia reduzir esta necessidade, pois os períodos de seca coincidem com os períodos de melhor produção fotovoltaica. A energia de fontes não renováveis poderá ser gradualmente desativada, e a matriz energética brasileira atingirá o maior nível de uso de energia renovável do mundo (Rigo et al., 2019).

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste artigo foi verificar como a energia solar fotovoltaica no Brasil tem sido abordada nos artigos científicos. O que se verificou foi uma grande variedade de temas explorados pela literatura. Entre os 156 artigos, dentro da classificação adotada, pesquisou-se sobre as tecnologias e equipamentos; sistemas híbridos ou complementares de geração; geração de energia utilizando edifícios; leis, normas, regulamentos, tarifas; mercado; uso residencial de energia fotovoltaica; comparação entre fontes de energias; impactos ambientais; educação e treinamento; e estudos para melhor localização para implantação de usinas fotovoltaicas. O que se verificou das pesquisas foi a grande variedade de temas, destacando-se propostas, tais como o uso de fontes de energia solar fotovoltaica, em reservatório de usinas hidroelétricas e açudes; na estrutura de edifícios comerciais, residenciais, públicos; no teto de residências; sistemas híbridos eólicos,

fotovoltaicos, hidroelétricos; utilizando infraestrutura de parques tecnológicos entre outros.

O sistema brasileiro de compensação de energia fotovoltaica pode ser lucrativo para os consumidores. O tempo de retorno mostrou-se menor em locais com tarifas de energia elétrica mais altas. Os cenários econômicos variam de acordo com cada localidade e dependem das tarifas de energia elétrica e taxas de desconto aplicáveis (Dávi et al., 2016).

As questões mais importantes que devem ser tratadas pelo governo brasileiro, em relação à difusão de grandes quantidades de medidas de eficiência energética são a arrecadação de impostos e o aumento das tarifas segundo Heideier et al. (2020). O aumento das tarifas pode ser mitigado se as ações de eficiência energética forem implementadas em locais da rede com altos custos marginais, ou concentradas em ações específicas no período de pico de carga para evitar o uso de eletricidade cara.

O desafio atual das economias em desenvolvimento é enfrentar o aumento do consumo e reduzir o impacto do uso de fontes não renováveis, estimulando o avanço das tecnologias que exploram as fontes renováveis de energia, a fim de abordar os fatores políticos, econômicos e ambientais envolvidos na geração de eletricidade (Garlet et al., 2019).

Este estudo tem como limitante a consulta somente a uma base de dados (*ScienceDirect*), o que limita as conclusões aqui expressas, mas não deixa de ser relevante, pois foram 156 artigos pesquisados e a maioria dos periódicos consultados tem fator de impacto de 1.810 ou superior. Sugere-se a extensão desta pesquisa utilizando outras bases, como, por exemplo, *Scopus* e *Web of Science*, e comparar com os resultados aqui encontrados.

REFERÊNCIAS

Bardin, L. (2009). *Análise de conteúdo*, 5a ed. Lisboa: Edições 70. Lda.

Bellido, M. M. H., Mendonça, H. L., Fonseca, M. V. A., Branco, D. A. C., & Pereira, A. O., Jr. (2020). Maturity-based analysis of emerging technologies in the Brazilian Power Sector. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118603, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118603>.

Campos, R. A., Nascimento, L. R., Rütther, R. (2020). The complementary nature between wind and photovoltaic generation in Brazil and the role of energy storage in utility-scale hybrid power plants. *Energy Conversion and Management*, 221, 113160, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113160>.

Cardoso, D. S., Locatelli, P. S., Wanderley Ramalho, W., & Asgary, N. (2021). Distributed generation of photovoltaic solar energy: impacts of Aneel's new regulation proposal on investment attractiveness. *Revista de Administração da UFSM*, 14(2), 423-442. <https://doi.org/10.5902/1983465961993>.

Carstens, D. D. S., & Cunha, S. K. (2019). Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. *Energy Policy*, 125, 396-404. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.063>.

Carvalho, D. B., Pinto, B. L., Guardia, E. C., & Lima, J. W. M. (2020). Economic impact of anticipations or delays in the completion of power generation projects in the Brazilian energy Market. *Renewable Energy*, 147, (part 1), 1312-1320. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.074>.

- Dávi, G. A., Caamaño-Martín, E., Rüter, R., & Solano, J. (2016). Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system. *Energy and Buildings*, *120*, 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.058>.
- David, T. M., Rizol, P. M. S. R., Machado, M. A. G., & Buccieri, G. P. (2020). Future research tendencies for solar energy management using a bibliometric analysis, 2000-2019, *Heliyon*, *6*(7), e04452, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04452>.
- Debastiani, G., Nogueira, C. E. C, Acorci, J. M., Silveira, V. F., Siqueira, J. A. C., & Baron, L. C. (2020). Assessment of the energy efficiency of a hybrid wind-photovoltaic system for Cascavel, PR. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *131*, 110013, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110013>.
- Elavarasan, R. M., Afridhis, S., Vijayaraghavan, R. R., Subramaniam, U., & Nurunnabi, M. (2020). SWOT analysis: A framework for comprehensive evaluation of drivers and barriers for renewable energy development in significant countries. *Energy Reports*, *6*, 1838-1864. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.07.007>.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. (2020a). *PNE 2050 – Plano Nacional de Energia*. Rio de Janeiro: EPE. Recuperado em 15 julho, 2021 de <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. (2020b). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020*. Rio de Janeiro: EPE. Recuperado em 15 julho, 2021 de <http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/analise/AnuarioEE.pdf>.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. (2021). *Balanço Energético Nacional - BEN 2021 – Ano base 2020*. Rio de Janeiro: EPE. Recuperado em 29 agosto, 2021 de <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>.
- Figueiredo, G. S., Neto, & Rossi, L. A. (2019). Photovoltaic energy in the enhancement of indigenous education in the Brazilian Amazon. *Energy Policy*, *132*, 216-222. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.05.037>.
- Fossile, D. K., Frej, E. A., Costa, S. E. G, Lima, E. P., & Almeida, A. T. (2020). Selecting the most viable renewable energy source for Brazilian ports using the FITradeoff method. *Journal of Cleaner Production*, *260*, 121107, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121107>.
- Freitas, J. S., Cronemberger, J., Raí Mariano Soares, R. M., & Amorim, C. N. D. (2020). Modeling and assessing BIPV envelopes using parametric Rhinoceros plugins Grasshopper and Ladybug. *Renewable Energy*, *160*, 1468-1479. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.137>.
- Garlet, T. B., Ribeiro, J. L. D., Savian, F. S., & Siluk, J. C. M. (2019). Paths and barriers to the diffusion of distributed generation of photovoltaic energy in southern Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *111*, 157-169. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.013>.
- González-Mahecha, R. E., Lucena, A. F. P., Garaffa, R., Miranda, R. F. C., Chávez-Rodríguez, M., Cruz, T., Bezerra, P., & Rathmann, R. (2019). Greenhouse gas mitigation potential and abatement costs in the Brazilian residential sector. *Energy and Buildings*, *184*, 19-33. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.039>.

- Guarda, E. L. A., Domingos, R. M. A., Jorge, S. H. M., Durante, L. C., Sanches, J. C. M., Leão, M., & Callejas, I. J. A. (2020). The influence of climate change on renewable energy systems designed to achieve zero energy buildings in the present: A case study in the Brazilian Savannah. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101843, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101843>.
- Harkouss, F., Fardoun, F., & Biwolé, P. H. (2018). Optimization approaches and climates investigations in NZEB - A review. *Building Simulation*, 11, 923-952. <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0448-6>.
- Heideier, R., Bajay, S. V., Jannuzzi, G. M., Gomes, R. D. M., Guanais, L., Ribeiro, I., & Paccola, A. Impacts of photovoltaic distributed generation and energy efficiency measures on the electricity market of three representative Brazilian distribution utilities. *Energy for Sustainable Development*, 54, 60-71. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.10.007>.
- Kraan, O., Chappin, E., Kramer, G. J., & Nikolic, I. (2019). The influence of the energy transition on the significance of key energy metrics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111, 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.032>.
- Leite, P. B., Neto, Saavedra, O. R., & Oliveira, D. Q. (2020). The effect of complementarity between solar, wind and tidal energy in isolated hybrid microgrids. *Renewable Energy*, 147, Part 1, 339-355. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.134>.
- Lima, D. A., & Garavito, A. M. C. (2019). Stochastic analysis of economic viability of photovoltaic panels installation for big consumers in Brazil. *Electric Power Systems Research*, 173, 164-172. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.04.020>.
- Martelli, V., Chimenti, P., & Nogueira, R. (2020). Future scenarios for the Brazilian electricity sector: PV as a new driving force? *Futures*, 120, 102555, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102555>.
- Medeiros, S. E. L., Nilo, P. F., Silva, L. P., Santos, C. A. C., Carvalho, M., & Abrahão, R. (2021). Influence of climatic variability on the electricity generation potential by renewable sources in the Brazilian semi-arid region. *Journal of Arid Environments*, 184, 104331. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104331>.
- Nascimento, A. D. J., & Rüther, R. (2020). Evaluating distributed photovoltaic (PV) generation to foster the adoption of energy storage systems (ESS) in time-of-use frameworks. *Solar Energy*, 208, 917-929. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.045>.
- Nematchoua, M. K., Asadi, S., & Reiter, S. (2020). Influence of energy mix on the life cycle of an eco-neighborhood, a case study of 150 countries. *Renewable Energy*, 162, 81-97. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.141>.
- Oliveira, A. K. V., Aghaei, M., & Rüther, R. (2020). Aerial infrared thermography for low-cost and fast fault detection in utility-scale PV power plants. *Solar Energy*, 211, 712-724. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.09.066>.
- Oliveira, L. G., Aquila, G., Balestrassi, P. P., Paiva, A. P., Queiroz, A. R., Pamplona, E. O., & Camatta, U. P. (2020). Evaluating economic feasibility and maximization of social welfare of photovoltaic projects developed for the Brazilian northeastern coast: An attribute agreement analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 123, 109786, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109786>.

- Pereira, R. I. S., Jucá, S. C. S., & Carvalho, P. C. M. (2019). IoT embedded systems network and sensors signal conditioning applied to decentralized photovoltaic plants. *Measurement*, *142*, 195-212. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.04.085>.
- Rigo, P. D., Siluk, J. C. M., Lacerda, D. P., Rosa, C. B., & Rediske, G. (2019). Is the success of small-scale photovoltaic solar energy generation achievable in Brazil?. *Journal of Cleaner Production*, *240*, 118243, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118243>.
- Rosa, C. B., Wendt, J. F. M., Chaves, D. M. S., Thomasi, V., Michels, L., & Siluk, J. C. M. (2020). Mathematical modeling for the measurement of the competitiveness index of Brazil south urban sectors for installation of photovoltaic systems. *Energy Policy*, *136*, 111048, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111048>.
- Santos, J. A. F. A., Jong, P., Costa, C. A., Torres, E. A. (2020). Combining wind and solar energy sources: Potential for hybrid power generation in Brazil. *Utilities Policy*, *67*, 101084, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101084>.
- Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *74*, 590-601. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>.
- Silva, T. C., Pinto, G. M., Souza, T. A. Z., Valerio, V., Silverio, N. M., Coronado, C. J. R., Guardia, E. C. (2020). Technical and economical evaluation of the photovoltaic system in Brazilian public buildings: A case study for peak and off-peak hours. *Energy*, *190*, 116282, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116282>.
- Sorgato, M. J., Schneider, K., & Rüther, R. (2018). Technical and economic evaluation of thin-film CdTe building-integrated photovoltaics (BIPV) replacing façade and rooftop materials in office buildings in a warm and sunny climate. *Renewable Energy*, *118*, 84-98. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.091>.
- Stubiener, U., Silva, T. C., Trigo, F. B. M., Benedito, R. S., & Teixeira, J. C. (2020). PV power generation on hydro dam's reservoirs in Brazil: A way to improve operational flexibility. *Renewable Energy*, *150*, 765-776. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.003>.
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., & Crawley, D. (2006). *Zero Energy Buildings: a critical look at the definition*. National Renewable Energy Laboratory (NREL): Golden, CO, USA. Recuperado em 26, agosto 2021 de <https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>.
- U.S. Energy Information Administration. (2021). *Annual Energy Outlook 2021 with Projections to 2050*. Washington: EIA. Recuperado em 19 abril, 2021 de https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/AEO_Narrative_2021.pdf.
- Webster, J., & Watson, R. T. (2002). Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review. *MIS Quarterly*, *26*(2), 13-23.
- Zomer, C., Custódio, I., Antonioli, A., & Rüther, R. (2020). Performance assessment of partially shaded building-integrated photovoltaic (BIPV) systems in a positive-energy solar energy laboratory building: Architecture perspectives. *Solar Energy*, *211*, 879-896. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.10.026>.