XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Produção fotovoltaica: comparativo entre simulações e medições de energia produzida em habitações de interesse social

Generación fotovoltaica: comparación entre simulaciones y mediciones de energía producida en viviendas de interés social

Photovoltaic production: comparison between simulations and measurements of energy produced in social housing.

Eficiência energética / *Eficiencia energética / Energy efficiency*

Silveira, Julio Gonçalves da

Arquieto,

doutorando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo-PPGAU UFPB, João Pessoa-PB, Brasil, julio_goncalves_@hotmail.com

Leder, Solange Maria

Arquiteta,

PhD, Professora do departamento de Arquitetura e Urbanismo – UFPB, João Pessoa-PB, Brasil, solangeleder@yahoo.com.br

Silva, Felipe Tavares da

Engenheiro civil ,

PhD, Professora do departamento de Arquitetura e Urbanismo – UFPB, João Pessoa-PB, Brasil, felipe.tavares@academico.ufpb.br

Neto, Flaviano Ferreira dos Santos

Engenheiro civil,

doutorando do Programa de Pós-Graduação em engenharia Civil e Ambiental-PPGAU UFPB, João Pessoa-PB, Brasil, flavianonesaf@gmail.com

Resumo

Com a busca por alternativas sustentáveis na produção de energia elétrica, o aumento tarifário e a pressão econômica, a energia solar fotovoltaica demonstrou sua confiabilidade como tecnologia. Diante disso, fatores sociais, econômicos e culturais podem representar obstáculos para a introdução desse sistema, que se instala, em sua maioria, em telhados, pois são as áreas que mais recebem radiação solar em uma edificação. Assim, o estudo comparou simulações com dados de módulos fotovoltaicos instalados em oito unidades de interesse social na cidade de João Pessoa. Os pesquisadores analisaram a energia gerada pelos módulos implantados e compararam os resultados obtidos nas simulações, utilizando a aplicação Ladybug® do plugin Grasshopper®, integrada ao programa Rhinoceros®. O estudo identificou a relação entre orientação solar, inclinação do telhado e quantidade de radiação incidente nos módulos, visando otimizar a eficiência do sistema na produção de energia elétrica.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Simulação de desempenho do edifício. Habitação de Interesse Social.

Resumen

La creciente demanda por alternativas sostenibles en la generación de electricidad, junto con el aumento de tarifas y la presión económica, ha consolidado la energía solar fotovoltaica como una tecnología confiable. Sin embargo, factores sociales, económicos y culturales pueden dificultar su implementación, especialmente porque la instalación de los módulos fotovoltaicos suele realizarse en cubiertas, donde la radiación solar es mayor. Este estudio comparó simulaciones con datos reales de módulos fotovoltaicos instalados en ocho viviendas sociales en João Pessoa. Se analizó la energía generada y se compararon los resultados obtenidos en simulaciones realizadas con Ladybug®, un complemento de Grasshopper® integrado en Rhinoceros®. Los resultados evidenciaron la influencia de la orientación solar y la inclinación de la cubierta en la radiación incidente sobre los módulos. Estos hallazgos permiten optimizar la eficiencia del sistema fotovoltaico en la producción de electricidad, contribuyendo a su mejor aprovechamiento en entornos urbanos.

Palabras clave: Energía Solar Fotovoltaica. Simulación del Desempeño del Edificio. Vivienda de Interés Social.

Abstract

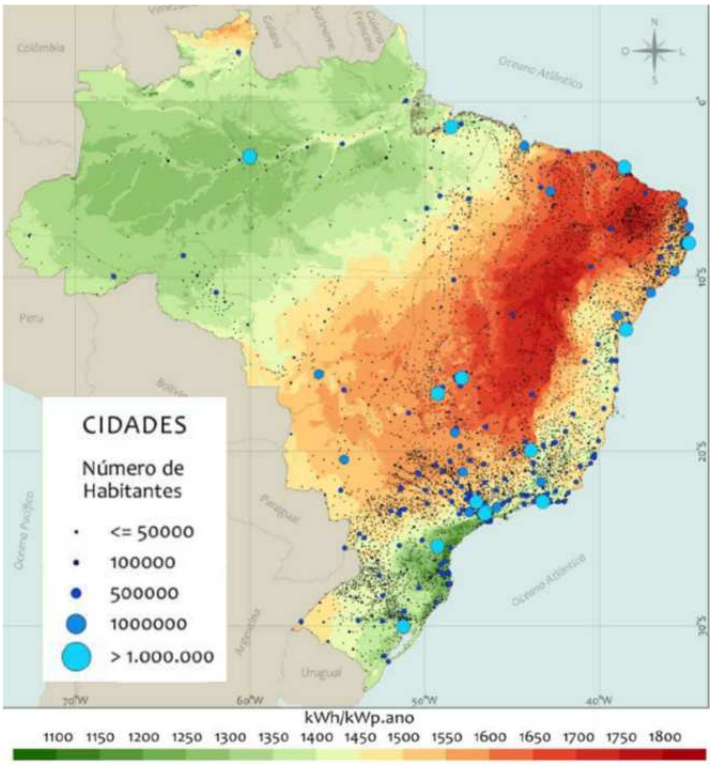
With the search for sustainable alternatives in electricity production, rising tariffs, and economic pressures, photovoltaic solar energy has proven to be a reliable technology. However, social, economic, and cultural factors can present obstacles to the implementation of this system, which is predominantly installed on rooftops, as these areas receive the most solar radiation in a building. This study compared simulations with data from photovoltaic modules installed in eight social housing units in the city of João Pessoa. Researchers analyzed the energy generated by the installed modules compared it with the results obtained in simulations using the Ladybug® application, a Grasshopper® plug-in integrated into the Rhinoceros® program. The study identified the relationship between solar orientation, roof slope, and the amount of radiation reaching the modules to optimize the system's efficiency in electricity production.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy. Building Simulation. Social Housing.

1. INTRODUÇÃO

Como forma de conter o consumo de energia, evitar a sobrecarga do sistema de distribuição e reduzir o uso de fontes não renováveis de energia, foram implementadas no Brasil as bandeiras tarifárias, ajustadas conforme a situação dos reservatórios hidrelétricos (Pereira *et al.*, 2017). No entanto, paralelamente, é fundamental promover ações de incentivo ao uso de fontes renováveis. Assim, em um cenário de crescente demanda por energia elétrica, somado ao aumento das tarifas, a adoção da microgeração distribuída fotovoltaica é uma opção cuja viabilidade é particularmente alta no Brasil (Figura 1).

Figura 1 - Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica, considerando taxa de 80% no desempenho para geradores fotovoltaicos fixos.



Fonte: Pereira *et al.* (2017).

A integração de sistemas de pequeno porte à rede elétrica reduz custos de implantação, distribuição e transmissão, além de proporcionar estabilidade e diversificação da matriz energética (Aneel, 2014). Dentre os sistemas de microgeração, os que utilizam placas fotovoltaicas se destacam pela facilidade de implantação, capacidade de produção e adequação à unidade consumidora. O sistema de menor impacto usa micro inversores

conectados à rede elétrica, com medição bidirecional que contabiliza consumo e produção da edificação (Rüther, 2004). O equilíbrio entre custo e conforto aumenta a eficiência na geração de energia por módulos fotovoltaicos. É essencial considerar custos de manutenção, exposição solar e evolução tarifária para avaliar a viabilidade da microgeração distribuída (Gomez-Herrera;Anjos, 2018). Uma pesquisa na Austrália (2015-2016) identificou que famílias com maior renda e casas próprias têm mais propensão a instalar módulos fotovoltaicos, enquanto moradores de apartamentos e imóveis alugados são menos propensos, sendo a restrição de crédito um fator decisivo (Best *et al.*, 2019).

Nesse contexto, os telhados surgem como as melhores superfícies para a instalação de sistemas fotovoltaicos. Um estudo realizado no município de Västerås, na Suécia (59°,61” N, 16°,54” E), utilizou dados de GIS (Geographical Information System) para avaliar a radiação incidente, a inclinação ideal e o melhor posicionamento dos módulos fotovoltaicos. Os resultados demonstram que, mesmo em uma latitude elevada e com diferentes inclinações, os telhados continuam sendo a opção mais eficiente (Yang *et al.*, 2020).

Geralmente, os módulos solares são instalados no plano do telhado que recebe maior quantidade de radiação solar. Um estudo realizado em Turim, na Itália, demonstrou que a utilização de diferentes planos do telhado pode otimizar a produção de energia, especialmente para médios e grandes consumidores. Essa abordagem permitiu um aumento de 8,5% na geração de eletricidade, aproximando-se do potencial instalado esperado (Mutani;Todeschi, 2021).

A escolha da melhor configuração para a instalação de sistemas fotovoltaicos em edificações se beneficia do uso de programas que permitem a parametrização de projetos arquitetônicos. Essas ferramentas facilitam a análise de desempenho nas fases iniciais da produção técnica em arquitetura, possibilitando que equipes interdisciplinares trabalhem de forma integrada e promovam maior sinergia entre desempenho e forma (Anton;Tănase, 2016). A utilização da aplicação Ladybug® por meio do plugin Grasshopper®, vinculado ao software Rhinoceros®, é uma alternativa para a realização de simulações da incidência de radiação solar sobre as superfícies das edificações. A ferramenta possibilita a análise do comportamento da forma do edifício e de seu entorno, avaliando como esses fatores podem influenciar a implantação de módulos solares e identificando os planos de maior incidência (Yang *et al.*, 2019).

Na concepção de sistemas fotovoltaicos, a simulação auxilia na tomada de decisões relativas à viabilidade e implantação. Uma comparação entre a Ladybug® e ferramentas de simulação

fotovoltaicas comerciais, como PVSyst® e PVWatts®, revelou que o uso de aplicações como a Ladybug® permite avaliações precisas em projetos que incorporam energia fotovoltaica na forma da edificação (De Sousa Freitas *et al.*, 2020). Corroborando a contribuição das ferramentas de simulação ambiental e paramétrica no aprimoramento projetual, a investigação conduzida por E Silva e Calili (2022) sobre o desempenho de módulos fotovoltaicos aplicados em fachadas utilizando os plugins Ladybug®, Honeybee® e Galápagos® demonstrou que essas ferramentas economizam tempo e fornecem aos usuários dados relevantes sobre o desempenho do edifício, como consumo e geração de energia. Embora, sua aplicação seja restrita a cidades que possuam arquivos climáticos disponíveis.

Contudo, a simulação, por si só, não determina todos os fatores envolvidos na inserção de módulos fotovoltaicos em edificações. A complementação desse processo pode ser feita por meio de uma análise multicritério, permitindo a definição da melhor alternativa, a delimitação do espaço de soluções e a tomada de decisões de forma mais ponderada e tangível (Boumaiza *et al.*, 2022).

Diante das possibilidades que as simulações oferecem para a concepção e execução de projetos arquitetônicos, este estudo tem como objetivo avaliar a interação entre a inclinação do telhado, a orientação e a produção de energia em habitações sociais construídas em João Pessoa. Apesar do Marco Legal da Microgeração e Minigeração distribuída instituiu o Programa de Energia Renovável Social, destinado a viabilizar acesso a famílias de baixa renda à energia renovável (Brasil, 2022), as habitações sociais ainda são as menos beneficiadas devido ao custo de instalação e à ausência de incentivos, uma vez que se considera que a população de baixa renda tem acesso a tarifas menores de energia. Nesse sentido, a análise dessas unidades habitacionais permite uma avaliação das potencialidades e desafios da implementação de sistemas fotovoltaicos em moradias de interesse social e combate à pobreza energética.

2. MÉTODO

Este estudo analisou a inclinação e orientação ideais para módulos solares em habitações de interesse social (Figura 2) em João Pessoa (7°07” S, 34°52” O), utilizando a ferramentas de simulação ambiental e paramétrica (plugin) Ladybug®. Os dados obtidos foram usados para calcular a energia potencialmente gerada e comparados com medições reais da concessionária. Isso permitiu avaliar a precisão dos modelos e sua aplicabilidade na otimização da instalação dos sistemas fotovoltaicos, considerando as condições climáticas.

Figura 2 – Disposição das unidades habitacionais investigadas



Fonte: adaptado de CEHAP (2021)

2.1 Dados relativos à unidade habitacional e os módulos fotovoltaicos

A Companhia Estadual de Habitação Popular da Paraíba (CEHAP-PB) forneceu dados sobre unidades habitacionais com sistemas fotovoltaicos, identificadas por imagem georreferenciada no AutoCAD®. As UH possuem fachada principal (acesso à rua) em três orientações (sul, leste e norte) e telhados de 47,83m² em duas águas. A presença da caixa d'água, que possui altura superior ao plano de cobertura, pode influenciar a incidência solar sobre os módulos fotovoltaicos. O sombreamento resultante, considerando as edificações em estudo, dependerá do posicionamento e da distância em relação aos módulos.

Os módulos, feitos de células policristalinas encapsuladas em EVA, foram instalados na água do telhado com maior probabilidade de incidência solar, seguindo uma inclinação de 25% (i=14°). Dimensionados para gerar até 80,00 kWh/mês, os sistemas seguem as especificações do fabricante. O telhado é de telhas cerâmicas sobre estrutura de madeira. As características técnicas dos módulos fotovoltaicos estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Lista de características dos módulos fotovoltaicos.

Características	Especificações
Número de módulos fotovoltaicos	3
Dimensões	808 x 1.580 x 49mm
Potência nominal	200 W
Tensão no pico (Vmp)	36,6 VCC
Tensão de proteção (Voc)	43,5 VCC

Corrente no Pico (Imp)	5,63 A
Curto-circuito (Isc)	6,3 A
Temperatura de trabalho	-40ºC até 85ºC
Eficiência (transformação da radiação solar em energia elétrica)	12,00 %
Posição ótima para geração de energia	Orientação = N, i = 7° (João Pessoa)

Fonte: adaptado de Cehap (2021).

Os dados relativos as medições da energia produzida pelo sistema instalados foram disponibilizados pela concessionária de energia e obtidos através da CEHAP, as medições não são realizadas em intervalos fixos e variam entre 28 dias e 32 dias, para este estudo foram utilizados uma composição de 19 períodos de medição que estão entre o mês de dezembro de 2014 e junho de 2016.

2.2 Modelo parametrizado

A modelagem das unidades habitacionais foi feita no Grasshopper®, integrado ao Rhinoceros®, permitindo simulações com variação de rotação e inclinação do telhado. A radiação solar foi calculada com o Ladybug®, utilizando dados climáticos de João Pessoa estraídos de arquivos *.epw. Para otimizar o sistema, o Galápagos® determinou a melhor inclinação e orientação dos módulos, considerando um rendimento de 12% dos módulos fotovoltaicos e 85% de eficiência do sistema elétrico. A conversão da radiação em energia elétrica foi estimada para diferentes cenários, ajustando as simulações aos períodos irregulares de medição da concessionária. A equação de conversão foi aplicada para estimar a energia gerada em cada cenário analisado.

Equação 1 - Energia produzida a partir da radiação solar por um módulo solar fotovoltaico.

$$E = Rs * Eff * Rsis$$

E = energia produzida.
Rs = radiação solar incidente sobre o plano.
Eff = eficiência do painel solar.
Rsis = rendimento do sistema elétrico.

Fonte: Macêdo Junior et al. (2018).

A modelagem digital e as simulações realizadas permitiram avaliar o impacto da inclinação e orientação dos módulos solares na captação de energia, possibilitando a escolha das configurações mais eficientes. A comparação com os dados reais de geração reforçou a precisão das simulações, destacando a relevância desse método no planejamento energético para edificações em regiões com condições climáticas similares.

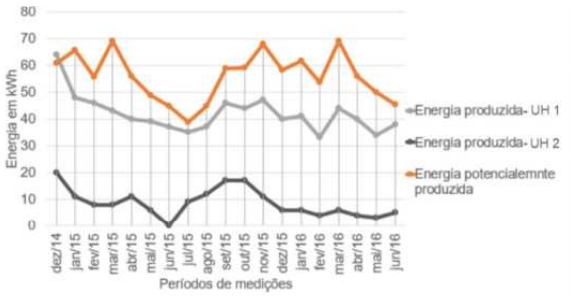
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise comparativa entre a produção real e os resultados simulados permitiu um melhor entendimento do impacto da orientação e posicionamento dos módulos fotovoltaicos (Figura 3 e 4). As placas foram instaladas com inclinação voltada para Oeste nas UH onde a fachada principal (acesso à rua) está voltada para a orientação norte (4°) ou sul (184°), acompanhando a inclinação do telhado (duas águas). Os resultados obtidos foram similares. A média da energia potencialmente gerada de acordo com a simulação para as duas situações foi de 56,00 kWh, enquanto a incidência solar média sobre o plano dos módulos foi de 549,04 kWh, com variações observadas na energia efetivamente produzida pelas unidades.

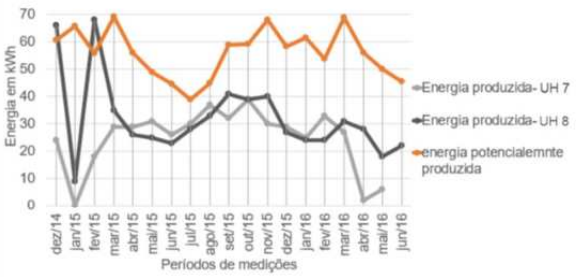
A diferença na produção está associada ao desempenho e às condições de instalação dos sistemas. A UH1 apresentou uma produção média de 41,89 kWh, enquanto, as demais unidades atingiram no máximo 31,95 kWh que foi registrada pela UH7 (Figura 3). Constatou-se que a UH2, obteve um desempenho significativamente inferior ao das demais unidades, com uma média de produção de apenas 8,63 kWh, sugerindo possíveis falhas nas instalações elétricas e na manutenção do sistema. Já a UH7 que inicialmente apresentou baixos níveis de produção, estabilizou-se entre março de 2015 e fevereiro de 2016, mas posteriormente sofreu um declínio na geração de energia. Verificou-se que a UH8, registrou dois picos de produção superior à estimada nos dois primeiros meses analisados, aproximando-se dos valores calculados nos meses de julho e agosto de 2015. A UH1 apresentou resultados mais constantes e que se aproxima da energia simulada.

Na avaliação através da simulação para determinar a inclinação ideal dos telhados das Unidades habitacionais (UH1, UH2, UH7 e UH8), a partir da ferramenta Galápagos®, verificou-se que a melhor inclinação do telhado foi de 9% (i = 5°), valor inferior à inclinação adotada na instalação dos módulos solares. Dessa forma, ao constatar que o sistema *in loco* não apresentou um desempenho ótimo, é possível concluir que a inclinação do telhado é provavelmente um dos fatores de influência que pode ter impactado no resultado. Esses resultados coincidem com as métricas alcançadas pelo trabalho desenvolvido por Dranka et al. (2025), que concluiu que apenas 15,4% dos sistemas fotovoltaicos atingem inclinação e orientação ideais.

Figura 3 – Produção de energia simulada x energia produzida na orientação oeste.



Dados	Média
Energia potencialmente produzida (kWh)	56,00
Incidência Solar	549,04
Energia produzida UH 7 (kWh)	41,89
Energia produzida UH 8 (kWh)	8,63

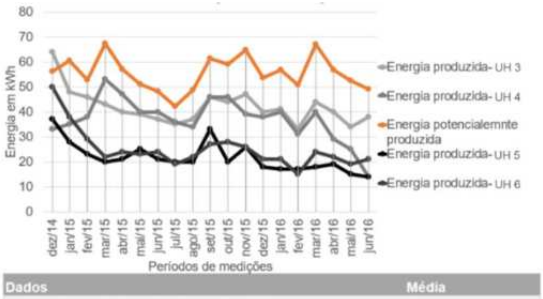


Dados	Média
Energia potencialmente produzida (kWh)	56,00
Incidência Solar	549,04
Energia produzida UH 7 (kWh)	31,95
Energia produzida UH 8 (kWh)	26,16

Fonte: Autores.

Nas UH onde a fachada principal (acesso à rua) está orientada para o leste, o plano de instalação dos módulos solar é com orientação norte (Figura 4), acompanhando a inclinação do telhado (duas águas). Nessa configuração a energia potencialmente produzida apresentou uma média de 55,44 kWh, sendo 0,66 kWh inferior a situação apresentada anteriormente com os módulos orientados para oeste. Apenas A UH3, no primeiro mês de análise, registrou uma produção superior ao valor estimado nas simulações. As UH3 e UH4 apresentaram um comportamento semelhante ao da produção simulada entre março de 2015 e março de 2016; com a UH4 registrando queda significativa após março de 2016. As unidades UH5 e UH6 também apresentaram produções próximas, porém significativamente inferiores ao potencial estimado nas simulações, com médias de 21,68 kWh e 25,00 kWh, respectivamente. No entanto, suas produções permaneceram estáveis entre fevereiro de 2015 e junho de 2016.

Figura 4 - Produção de energia simulada x energia produzida na orientação norte.



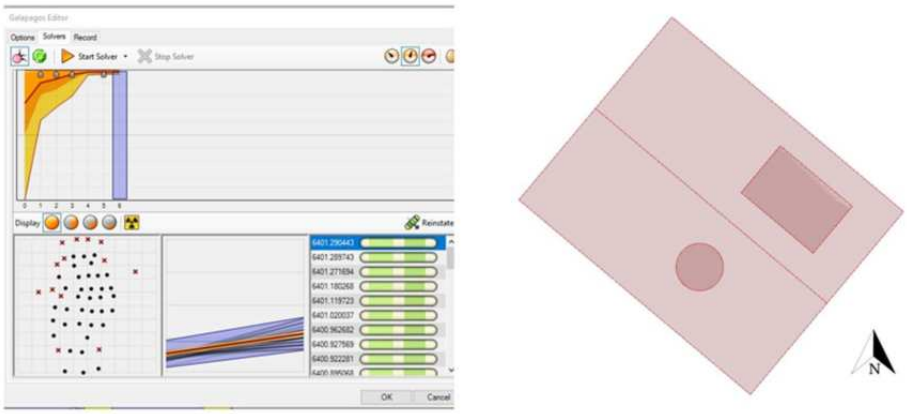
Dados	Média
Energia potencialmente produzida (kWh)	55,44
Incidência Solar	544,54
Energia produzida UH 3 (kWh)	22,42
Energia produzida UH 4 (kWh)	37,05
Energia produzida UH 5 (kWh)	21,68
Energia produzida UH 6 (kWh)	25,00

Fonte: autores.

Quanto à melhor relação entre a inclinação do telhado e a quantidade de radiação incidente, verificou-se, por meio das simulações realizadas que a inclinação ideal foi de 8% (i=5°). Esse valor também foi inferior ao adotado na instalação dos módulos fotovoltaicos levantando um questionamento qual seria a inclinação e orientação ideal para os módulos fotovoltaicos nesta localização.

Sobre a melhor locação das Unidades habitacionais e orientação dos módulos fotovoltaicos, a ferramenta Galápagos® (Figura 5), após cinco gerações de soluções considerando inclinação, radiação solar incidente e orientação, indicou que a inclinação ideal do telhado seria de 11% (i=6°), um valor próximo ao recomendado pelo fabricante. No caso da orientação solar dos módulos fotovoltaicos, a posição ideal seria de 50° em relação ao norte geográfico, o que corresponde a uma orientação predominantemente nordeste.

Figura 5 - Simulação na aplicação Galápagos, considerando orientação, radiação incidente e orientação.



Fonte: Elaboração Própria.

Ao considerar a inclinação ideal, o telhado composto por telhas cerâmicas não seria o mais indicado para o uso de módulos fotovoltaicos, pois essa opção requer um grau de inclinação superior ao ideal. Se o objetivo é a maior eficiência e economia no custo do sistema, outros materiais como telhas metálicas ou fibrocimento, que permitem inclinações menores, são mais indicadas. Contudo, mesmo se tratando de habitações de interesse social, é necessário considerar todas as variáveis envolvidas, o ideal é buscar uma solução equilibrada entre custo e benefício.

A experiência conduzida neste estudo, comparação entre sistemas *in loco* (instalado) e simulações computacionais, levanta questionamentos sobre a precisão de simulações baseadas em informações básicas. É possível que, com um maior número de dados de entrada

e a utilização de outras ferramentas do Grasshopper®, a precisão dos resultados seja aprimorada e se aproxime daquela indicada no estudo de De Sousa Freitas *et al.* (2020).

Fica evidente que, caso as simulações tivessem sido utilizadas na fase de implantação do sistema ou no projeto das unidades habitacionais, as decisões relativas ao edifício e sua implantação, bem como em relação às variáveis do sistema fotovoltaico implantado poderiam ter sido influenciadas de forma a resultar em um sistema mais eficiente.

Como as unidades analisadas são de interesse social, a necessidade de treinamento e acompanhamento técnico tornou-se evidente para otimizar tanto o uso quanto a compreensão do sistema pelos moradores. Os resultados demonstram que seis das unidades habitacionais apresentam um declínio na produção nos dois últimos meses analisados, em relação as suas respectivas médias. Esses achados corroboram com os estudos de Alipour *et al.* (2020), Zulu *et al.* (2021) e Bonilla-Alicea;Fu (2022), que indicam que fatores sociais e o nível de conhecimento tecnológico podem influenciar tanto a implantação quanto a manutenção de sistemas fotovoltaicos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a eficiência da instalação de módulos solares em habitações sociais construídas em João Pessoa. Os resultados demonstraram que a inclinação adotada nas instalações (i = 14°) não é ideal para maximizar a captação da energia solar. A simulações indicaram que a inclinação ótima seria de i = 5° a i = 6° para as orientações investigadas e que os módulos fotovoltaicos deveriam estar com orientação predominantemente nordeste (50° em relação ao norte).

As decisões de projeto e execução dos sistemas investigados impactaram na eficiência do sistema, que apresentou uma capacidade de geração de energia inferior ao potencial verificado com as simulações. Considerando a comparação da produção energética das unidades habitacionais *in loco* em relação às simulações, observou-se que a geração de energia ficou abaixo do esperado na maior parte dos períodos investigados. Além dos aspectos investigados nesse estudo: inclinação, orientação solar e sombreamento dos módulos fotovoltaicos, fatores como manutenção (limpeza dos módulos e monitoramento da produção), instalação do sistema e confiabilidade dos inversores e dos módulos, devem ser considerados.

Por fim destaca-se que a utilização de simulações computacionais na fase de projeto poderia garantir um melhor aproveitamento energético do sistema. A pesquisa evidencia a necessidade de uma abordagem multidisciplinar no planejamento de projetos que contemplem a produção de energia solar, a fim de garantir um melhor desempenho dos sistemas fotovoltaicos.

Para futuros estudos, indica-se a necessidade de utilizar aplicações mais precisas que permitam obter um panorama mais próximo da realidade, ou estabelecer equações que calibrem o modelo para refletir melhor as condições reais. Também é necessário investigar quais foram os problemas encontrados pelos usuários que possam ter afetado o desempenho do sistema. Além disso, que estes estudos futuros investiguem como as simulações podem representar com maior precisão a realidade de sistemas menores e avaliem o conhecimento dos usuários sobre demanda, consumo e a energia que pode ser produzida pelo sistema fotovoltaico instalado.

5. REFERÊNCIAS

ALIPOUR, M; SALIM, H; STEWART, Rodney A; SAHIN, Oz. Predictors, taxonomy of predictors, and correlations of predictors with the decision behaviour of residential solar photovoltaics adoption: A review. **Renewable Sustainable Energy Reviews,** v. 123, p. 109749, 2020. ISSN 1364-0321.

ANEEL, Cadernos Temáticos. Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, DF, Brasil: Centro de Documentação–Cedoc. Micro e minigeração distribuída. 2014.

ANTON, Ionuţ; TĂNASE, Daniela. Informed geometries. Parametric modelling and energy analysis in early stages of design. **Energy Procedia,** v. 85, p. 9-16, 2016. ISSN 1876-6102.

BEST, Rohan; BURKE, Paul J; NISHITATENO, Shuhei. Understanding the determinants of rooftop solar installation: evidence from household surveys in Australia. **Australian Journal of Agricultural Resource Economics,** v. 63, n. 4, p. 922-939, 2019. ISSN 1364-985X.

BONILLA-ALICEA, Ricardo J; FU, Katherine. Social life-cycle assessment (S-LCA) of residential rooftop solar panels using challenge-derived framework. **Energy, Sustainability Society,** v. 12, n. 1, p. 1-28, 2022. ISSN 2192-0567.

BOUMAIZA, Ameni; SANFILIPPO, Antonio; MOHANDES, Nassma. Modeling multi-criteria decision analysis in residential PV adoption. **Energy Strategy Reviews,** v. 39, p. 100789, 2022. ISSN 2211-467X.

BRASIL, Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída e o sistema de compensação de energia elétrica, e altera as Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e nº 10.848, de 15 de março de 2004. Brasília, DF: Diário Oficial da União. 14.300 2022.

CEHAP, Companhia Estadual de Habitação Popular. Localização cartográfica de unidades habitacionais com módulos solares. Autodesk, Autocad. João Pessoa, PB 2021.

DRANKA, Géremi Gilson; FERREIRA, Rodrigo Manoel Aguiar; ALENCAR Álvaro Peixoto de; LELUDAK, Jorge Assade; CÂNDIDO, Roberto; PAZINATTO, Murilo dos Santos; SILVA, Lucas Massao; ZARDO, Isadora Zanella; OLIVEIRA, Ricardo Vasques de. A comprehensive audit framework for rural photovoltaic systems: On-site insights and key findings from Brazil. **Energy** V. 322, 135436. 2025. DOI https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.135436.

DE SOUSA FREITAS, Jader; CRONEMBERGER, Joára; SOARES, Raí Mariano; AMORIM, Cláudia Naves David. Modeling and assessing BIPV envelopes using parametric Rhinoceros plugins Grasshopper and Ladybug. **Renewable Energy,** v. 160, p. 1468-1479, 2020. ISSN 0960-1481.

E SILVA, Anna Carolina Peres Suzano; CALILI, Rodrigo Flora. New building simulation method to measure the impact of window-integrated organic photovoltaic cells on energy demand. **Energy Buildings,** v. 252, p. 111490, 2021. ISSN 0378-7788.

GOMEZ-HERRERA, Juan A; ANJOS, Miguel. Optimal collaborative demand-response planner for smart residential buildings. **Energy,** v. 161, p. 370-380, 2018. ISSN 0360-5442.

MACÊDO JUNIOR, Natanael Fernandes; BEZERRA, Flávio Mendonça; FIGUEIREDO, Francisca Jeanne Sidrim de; TAVARES, Frederico Romel Maia; SILVA, Antônio Luis Araújo. Dimensionamento de um sistema fotovoltaico e análise de investimento para o Instituto Centro de Ensino Tecnológico. XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO. Maceió, AL 2018.

MUTANI, Guglielmina; TODESCHI, Valeria. Optimization of costs and self-sufficiency for roof integrated photovoltaic technologies on residential buildings. **Energies,** v. 14, n. 13, p. 4018, 2021. ISSN 1996-1073.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, Adré Rodrigues; COSTA, Rodrigo santos; LIMA, Francisco J. Lopes; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel Luna de; TIEPOLO, Gerson Máximo; PEREIRA, Silvia Vitorino; SOUZA, Jefferson Gonçalves de. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos 2017.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Editora UFSC, 2004. ISBN 8587583042.

YANG, Li; LIU, Xiaodong; QIAN, Feng. Optimal configurations of high-rise buildings to maximize solar energy generation efficiency of building-integrated photovoltaic systems. **Indoor Built Environment,** v. 28, n. 8, p. 1104-1125, 2019. ISSN 1420-326X.

YANG, Ying; CAMPANA, Pietro Elia; STRIDH, Bengt; YAN, Jinyue. Potential analysis of roof-mounted solar photovoltaics in Sweden. **Applied Energy,** v. 279, p. 115786, 2020. ISSN 0306-2619.

ZULU, Sambo Lyson; CHABALA, Mwansa; ZULU, Ephraim. Perceptions and beliefs influencing intention to use solar energy solutions in Zambian households. **Built Environment Project Asset Management**, 2021. ISSN 2044-124X.