

Análise do decaimento de eficiência em painéis fotovoltaicos: estudo de caso em uma edificação residencial de energia positiva

Efficiency decay in photovoltaic panels: a study in a residential positive energy building

Veronica Martins Gnecco, engenheira civil, mestranda no programa Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina

veronicamgnecco@gmail.com

Artur Martins Kamimura, engenheiro civil, mestrando no programa Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina

arturkamimuras@gmail.com

Emeli Lalesca Aparecida da Guarda, mestre, doutoranda no programa Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina

emeliguarda@gmail.com

Michele Fossati, Phd, Universidade Federal de Santa Catarina

michele.fossati@ufsc.br

Martin Ordenes Mizgier, Phd, Universidade Federal de Santa Catarina

martin.ordenes@ufsc.br

Resumo

Incentivos para Edificações de Energia Positiva e Quase Zero destacam-se, principalmente focadas em energias renováveis. Contudo, as perdas e o decaimento de eficiência podem impactar no rendimento de painéis fotovoltaicos. Essa pesquisa objetiva quantificar o impacto das perdas e do decaimento de eficiência em painéis fotovoltaicos, considerando uma edificação residencial de energia positiva em diferentes localidades. As demandas energéticas quantificaram-se no *EnergyPlus* e simulou-se a quantidade de painéis, as perdas e o impacto do decaimento de eficiência de 0,5% a.a no *System Advisor Model*. Os resultados mostraram que a demanda energética de Cuiabá foi 28% maior comparado a Manaus. A produção energética dos painéis após 25 anos foi menor que a demanda da edificação em todos os casos, com diferença de 3,29% em São Paulo e 4,74% em Manaus. Conclui-se que as perdas e o decaimento devem ser considerados em projetos de energias renováveis, segundo as condições de contorno da edificação.

Palavras-chave: Perdas em Painéis Fotovoltaicos; EEP; System Advisor Model; Simulação Termoenergética

Abstract

Incentives in Zero and Positive Energy Buildings have been growing, mainly with focus on renewable energies. However, losses and decay in efficiency can impact in photovoltaic panels efficiency. This research aims to quantify the impact of losses and the decay of efficiency in photovoltaic panels, considering a residential Positive Energy Building in different locations. The energy demands were quantified in EnergyPlus and the number of panels, losses and the impact of the 0.5% p.a. efficiency decay in the System Advisor Model was simulated. The results showed that Cuiabá's energy demand was 28% higher compared to Manaus. The energy production of the panels after 25 years was less than the building demand in every case, with a difference of 3.29% in São Paulo and 4.74% in Manaus. It is concluded that losses and decay must be considered in renewable energy projects, according to the building's boundary conditions.

Keywords: Loss in Photovoltaic Panels; PEB; System Advisor Model; Thermo-energetic Simulation

1. Introdução

A fonte e o consumo energético estão diretamente ligados ao crescimento econômico de um país, incentivando a busca por melhores recursos ou tecnologias (WANG; WANG, 2020). Percebe-se que o aumento no consumo energético é seguido também do aumento das emissões de gases do efeito estufa (IPCC, 2014). Devido à crescente preocupação com o aquecimento global e os gases do efeito estufa, as energias renováveis são alternativas interessantes para a mitigação das mudanças climáticas.

A tecnologia de energia solar e fotovoltaica, por exemplo, veem crescendo em altas taxas, recebendo cada ano massivos investimentos públicos e privados nos países europeus e Estados Unidos, fator que contribui para sua popularização (CHAAR; IAMONT; ZEIN, 2011; SHAHBAZ et al., 2020). Segundo Shahbaz et al. (2020), a participação das energias renováveis na produção da eletricidade aumentará 39% em 2050. Assim, o crescimento do uso de energia solar mundial para os próximos 30 anos, apontado pelo Energy Outlook de 2020 (BP, 2020), é de 40 a 55% em diferentes cenários de desenvolvimento e emissões de carbono, com queda de custo de 65 até 70%.

Nos países europeus as políticas para incentivo do uso de energias renováveis são comuns, incluindo a solar. A Diretiva Europeia nº 28 de 2009 estabelece como meta a participação das energias renováveis em 20% no consumo de energia final, até o ano de 2020 (EUROPEAN UNION, 2009). A revisão da Diretiva em 2018 (EUROPEAN UNION, 2018) elevou o objetivo para 32%, até o ano de 2030. Nos Estados Unidos, houve a intenção no governo Obama em reduzir a produção energética de carvoarias e elevar a matriz energética renovável, pelo Plano de Energia Limpa (EPA, 2015). No governo Trump, as metas foram alteradas, através da Ordem Executiva de Independência Energética (EPA, 2017). Ações também são tomadas na China, para equilibrar o crescimento econômico acentuado e as metas ambientais, tendo em vista o elevado uso energético do país (UNITED NATIONS, 2011). Na união Europeia, o consumo de energia renovável tem apresentado impacto positivo considerável no crescimento econômico (ALPER; OGUZ, 2016; ITO, 2017).

No caso do Brasil, a fonte solar corresponde a apenas 1% da matriz energética nacional, entretanto apresentou crescimento de 92,2% no período de 2018 a 2019 (EPE, 2020). Apesar de representar uma baixa parcela da energia gerada atualmente, o Brasil possui alto potencial de geração, assim como outros países em desenvolvimento (BELUSSI et al., 2019). É importante lembrar que a matriz energética brasileira tem grande participação de energias renováveis, sendo 46,1% no ano de 2019, a maior parte devido à geração pelas hidrelétricas (EPE, 2020).

Painéis fotovoltaicos são alternativas viáveis e interessantes para a geração de energia renovável e local em edificações (LOLLI, LIEN, RONNESETH, 2020). Os principais tipos de painéis existentes são os cristalinos, os de filmes finos, composição e os de nanotecnologia. Os painéis cristalinos são os mais difundidos, em que o tipo mono-cristalina ocupa aproximadamente 80% do mercado, por sua liderança em custo-benefício e eficiência (CHAAR; IAMONT; ZEIN, 2011). Chaar, Iamont e Zein (2011) ainda destacam que os sistemas fotovoltaicos tem altos custos iniciais, que podem sofrer decréscimo por incentivos governamentais e popularização dos equipamentos, porém reduzidos custos de operação e manutenção. Nos últimos 40 anos, o custo das tecnologias fotovoltaicas tem apresentado acentuado declínio, com motivos como melhora na eficiência e crescimento de pesquisas no campo, redução do custo dos materiais e melhora nos processos produtivos (KAVLAK; MCNERNEY; TRANCIK, 2018)

Painéis fotovoltaicos estão sujeitos a perdas conforme sua utilização, instalação, modelos e localização. Ekici e Kopru (2017) investigaram, por simulações computacionais, as perdas de um sistema de painéis monocristalinos com 150 Wp instalados na cobertura de um edifício universitário. Os resultados mostraram que 5,7% foram perdas térmicas, 3% perdas de qualidade do módulo, 18% por perdas do inversor, 1% perdas por *mismatch*, 33% devido ao sombreamento dos módulos e 2,5% através dos cabos.

Reduzir a temperatura dos módulos é uma maneira efetiva de diminuir a temperatura e elevar a vida útil dos painéis fotovoltaicos, que podem ser evitadas pela redução da produção de calor e facilitando a rejeição de calor desperdiçado (SILVERMAN *et al.*, 2018). As perdas por *mismatch* são entendidas como a diferença entre a máxima potência de saída disponível do sistema de painéis e a soma da potência de saída de cada um dos módulos (SILVESTRE; CHOUDER, 2008).

Outro tipo de perdas que pode ganhar importância são aquelas ocasionadas por sujeira nos módulos, que prejudicam a incidência da irradiação solar diretamente nos módulos (JAMIL *et al.*, 2017). O impacto dessa perda pode ser reduzido quando realizada a limpeza manual ou pela incidência de chuvas, sendo recomendado inclinação de pelo menos 10° das placas (ARAÚJO; RANK; BUENO, 2016).

A taxa de degradação dos painéis fotovoltaicos também deve ser conhecida, para que se possa antecipar a produção de um sistema. Um estudo do Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos (NREL) (JORDAN; KURTZ, 2012) com 2000 taxas de degradação de painéis nos últimos 40 anos mostrou que a média é de 0,8% ao ano, com uma mediana de 0,5% ao ano. Entretanto, no estudo não foi possível responder algumas questões como a linearidade das perdas e o impacto do clima, necessitando de mais estudos de longo prazo nesse campo.

Os painéis fotovoltaicos são estratégias de geração de energia renovável e local amplamente utilizadas em edificações, com destaque especial para as Edificações de Energia Quase Zero (NZEBs), do inglês *Nearly Zero Energy Buildings* e as Edificações de Energia Positiva (EEP), ou *Positive Energy Buildings*. As NZEBs são edificações energeticamente eficientes, através da implementação de estratégias de eficiência energética, com produção energética local e renovável de 50% ou mais de sua demanda energética anual (BRASIL, 2021). Já para as EEPs, também energeticamente eficientes, a produção anual de energia local e renovável deve ser maior que a sua demanda durante o período de um ano, segundo o Brasil (2021). Dessa forma, percebe-se o interesse em demonstrar como as perdas e o decaimento de eficiência dos painéis agem na redução da eficiência dos mesmos e como isso pode afetar a produção energética para uma EEP.

2. Objetivo

Esse artigo tem como objetivo quantificar o impacto das perdas e do decaimento de eficiência em painéis fotovoltaicos, considerando uma edificação de energia positiva, por meio da aplicação do *software* de simulação SAM (*System Advisor Model*), quando aplicadas diferentes condições climáticas.

3. Metodologia

3.1. Edificação analisada

Para realização dos estudos, foi utilizada uma adaptação da edificação de referência de interesse social utilizada no estudo de Triana, Lamberts e Sassi (2015). A edificação possui

dois quartos, um banheiro e uma sala integrada com a cozinha, totalizando 43,24m² (Figura 1).



Figura 1: Planta baixa da edificação analisada. Fonte: elaborado pelos autores.

Os fechamentos verticais (paredes internas e externas) da edificação de referência são em tijolos cerâmicos perfurados com reboco interno e externo, apresentando capacidade térmica de 132Kj/m²K e absorvância de 0,3. A cobertura é composta de telha cerâmica e forro PVC, com capacidade térmica de 121,4kJ/m².K e absorvância de 0,6. O piso consiste de laje, tipo radier (10cm), com capacidade térmica de 1,75W/m².K e absorvância de 0,3. As esquadrias apresentam capacidade térmica de 5,7W/m².K e fator solar de 0,87.

Para a realização das simulações, foram escolhidas três cidades: Cuiabá-MT, São Paulo-SP e Manaus-AM, caracterizando um clima quente e seco, ameno e quente e úmido, respectivamente. A partir da edificação de referência, foram realizadas adaptações na envoltória, a fim de adaptá-la ao clima específico, considerando que a EEP precisa também incluir estratégias de eficiência energética (Quadro 1).

Localidade	São Paulo	Cuiabá e Manaus
Sistema		
Cobertura	Telha cerâmica (1cm) Laje de concreto (10cm); $U=2,05 \text{ W/m}^2.\text{K}; \alpha=0,4$	Telha de Fibrocimento (6 mm) Forro de gesso (3 cm) $U=1,95 \text{ W/m}^2.\text{K}; \alpha=0,3$
Paredes internas	Bloco cerâmico 12x19x19 Reboco interno e externo 2,5 cm; $U=2,13 \text{ W/m}^2.\text{K}; \alpha=0,3$	Placa cimentícia 1 cm Isolamento (lã de rocha) 4 cm Placa de gesso 1,5 cm $U=0,9 \text{ W/m}^2.\text{K}; \alpha=0,3$
Paredes externas	Bloco cerâmico 12x19x19 Reboco interno e externo 2,5 cm; Isolamento (lã de rocha) 4 cm $U=0,6 \text{ W/m}^2.\text{K}; \alpha=0,3$	Placa cimentícia 1 cm Isolamento (lã de rocha) 4 cm Placa de gesso 1,5 cm $U=0,9 \text{ W/m}^2.\text{K}; \alpha=0,3$
Piso	Laje de concreto 10 cm $U=3,74 \text{ W/m}^2.\text{K}; \alpha=0,3$	Laje de concreto 10 cm $U=3,74 \text{ W/m}^2.\text{K}; \alpha=0,3$
Janelas	$U=5,7 \text{ W/m}^2.\text{K}; FS=0,87$	$U=5,7 \text{ W/m}^2.\text{K}; FS=0,87$

Quadro 1 – Envoltória aplicada a cada cidade, a partir das estratégias de eficiência aplicadas. Fonte: elaborado pelos autores.

Os painéis estarão localizados na água Oeste, uma vez que essa é, para a edificação analisada, a cobertura de maior área. Assim, será possível para todas as cidades analisadas incluir os módulos fotovoltaicos suficientes em uma mesma direção. Destaca-se que, como mostrado na Figura 1, a edificação original, feita por Triana, Lamberts e Sassi (2015), tem suas águas voltadas para leste e oeste. As inclinações dos painéis seguem a latitude local, sendo a menor admitida 10° , para favorecer a limpeza dos módulos pela chuva. Assim, adotou-se 10° para Manaus, 15° para Cuiabá e 20° para São Paulo. A área total para instalação na face da cobertura é de $28,5\text{m}^2$ ($3,81 \times 7,39\text{m}$).

3.2. Simulações Computacionais

A fim de obter os valores de demanda energética, do número de painéis fotovoltaicos necessários e da energia produzida pelos mesmos, efetuaram-se simulações energéticas, explicadas na sequência.

3.2.1. Simulação Energética

Para obtenção da demanda energética anual da edificação em cada cenário, as simulações energéticas foram realizadas através do *software EnergyPlus*, aplicadas as respectivas estratégias de eficiência energética. Os *schedules* de ocupação, iluminação e equipamentos foram definidas de acordo com o uso geral de edificações de interesse social, respeitando as premissas:

- O aquecimento e resfriamento é ativado entre as 14h e 22h para a sala e entre as 22h e 8h para os dois quartos;
- Foram consideradas duas pessoas por quarto durante o período de ocupação e duas pessoas na sala das 14h às 18h e quatro das 18h às 22h.

A densidade de iluminação e de equipamentos considerada foram de 5W/m^2 em todos os ambientes e 120W na sala, respectivamente, o Coeficiente de Desempenho (COP) do ar

condicionado considerado foi de 4,79. O aquecimento de água é feito por chuveiro elétrico, já considerado na densidade de equipamentos.

3.2.2. Simulação do Sistema Fotovoltaico

O *software System Advisor Model (SAM)* foi usado para o dimensionamento do número de painéis necessários para suprir a demanda energética das edificações com as alterações, nas cidades selecionadas. Além disso, o SAM foi também utilizado no levantamento das perdas e do decaimento de eficiência dos painéis. O decaimento de eficiência foi monitorado por 25 anos, considerando o tempo de vida útil médio dos painéis fotovoltaicos.

O SAM é um *software* gratuito, desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL), que possibilita a análise e comparação de diferentes sistemas de geração energética, incluindo a fotovoltaica. Podem ser calculados custos e fluxo de caixa, desempenho de sistemas e produção energética total, através simulações horárias. Os resultados podem ser exportados e manipulados no formato de planilhas.

Algumas informações devem ser fornecidas como dados de entrada para efetuar as simulações. Os painéis utilizados são monocristalinos de Silício e possuem eficiência 18,95%, 300,95Wp e área de 1,62x0,98m. A taxa de decaimento de eficiência considerada foi de 0,5% ao ano pelos 25 anos considerados.

As perdas consideradas foram 5% devido a sujeira nos módulos, 2% por *mismatch*, considerando um inverter central, 0,5% devido as conexões e 3% devido ao cabeamento. Não foram consideradas perdas de sombreamento por edificações vizinhas ou vegetação densa. Os valores utilizados foram definidos de acordo com o observado em bibliografia.

Assim, foram comparadas as duas situações em cada ZEB, para as três cidades escolhidas: a primeira, apenas considerando de perdas dos painéis fotovoltaicos; e a segunda, considerando as perdas e o decaimento de eficiência dos painéis. Assim, espera-se compreender o impacto das perdas e do decaimento da eficiência dos painéis fotovoltaicos, quando aplicados em uma Edificação de Energia Positiva, por meio do *software* de simulação SAM. A Figura 2 ilustra as análises do método.

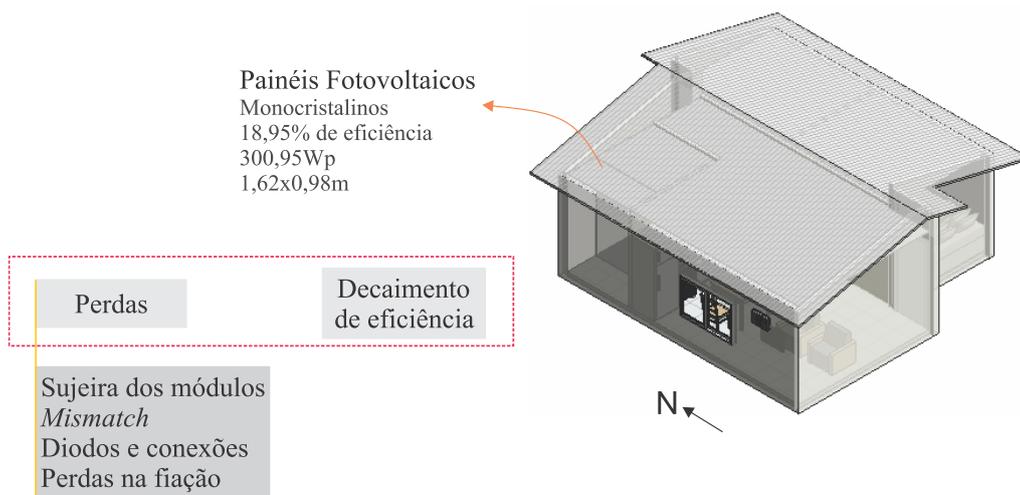


Figura 2: Método da pesquisa. Fonte: elaborado pelos autores.

Resultados

Para cada cidade, foram utilizados os mesmos módulos fotovoltaicos e inversores, variando apenas a quantidade de painéis, dependendo da demanda total da edificação. Na

Figura 3 a demanda total em cada cenário está representada pelas colunas e a quantidade de módulos adotados pela linha vermelha.

Observa-se que com o mesmo número de painéis fotovoltaicos, Cuiabá possui uma demanda energética 28,30% maior que Manaus, fator que pode influenciar no efeito que o decaimento de eficiência dos painéis terá nas duas cidades.

As perdas adotadas foram as mesmas em cada situação e tendo impacto semelhante na energia produzida no primeiro ano para cada cenário. Entretanto, o impacto do decaimento de eficiência dos painéis foi variável, uma vez que, em alguns casos a folga provocada pela área dimensionada favoreceu a resiliência do sistema com o passar dos anos. Em outros, não foi suficiente para que a edificação ainda fosse considerada ZEB.



Figura 3: Resultados de demanda total e número de painéis fotovoltaicos em cada cidade. Fonte: elaborado pelos autores.

Além das perdas que foram indicadas como dados de entrada, o *software* indica outras que também diminuem a produção energética do sistema e variam em cada cidade: perdas por reflexão, perdas do inversor (consumo energético, consumo durante a noite, perdas de eficiência, efeito limitador de potência) e o devido ao desvio de eficiência das condições de teste (Figura 4).

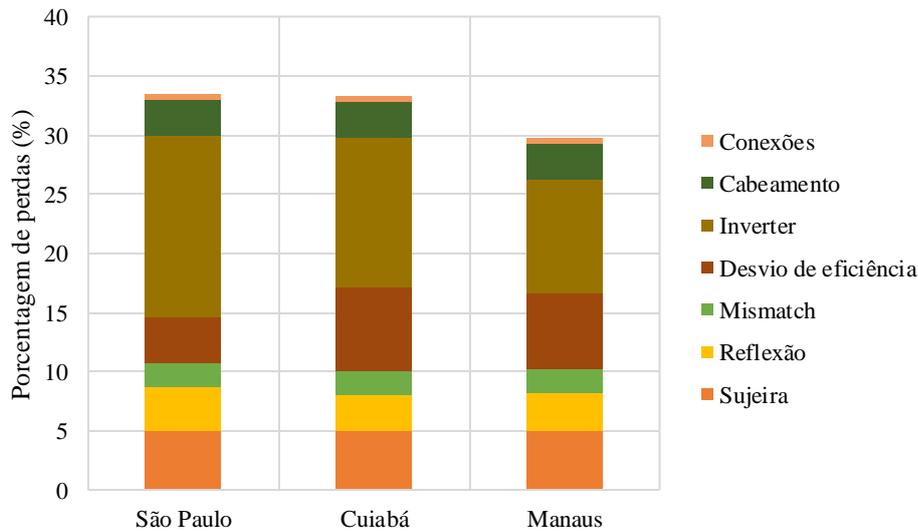


Figura 4: Divisão das perdas para cada cenário. Fonte: elaborado pelos autores.

As perdas totais para cada cidade, apesar de semelhantes, não foram as mesmas: 33,45% para São Paulo, 33,25% para Cuiabá e 29,78% para Manaus. É importante observar como o dimensionamento otimizado do inverter pode favorecer a redução das perdas, sendo utilizado, para esse estudo, o mesmo modelo em todos os casos.

Na Figura 5, apresenta-se uma visão geral dos resultados de geração energética fotovoltaica numa projeção de 25 anos. Os marcadores em destaque mostram os primeiros anos em que a demanda energética da edificação é maior do que o produzido pelos painéis, segundo as simulações. Para as três cidades, a edificação não se mantém ZEB na projeção para 25 anos, produzindo -4,74% em Manaus, -6,45% em Cuiabá e -3,92% em São Paulo para suprir a demanda energética ao final dos 25 anos. O decaimento de produção energética total do primeiro ano até o fim da vida útil média dos painéis foi, em média, de 10,16%.

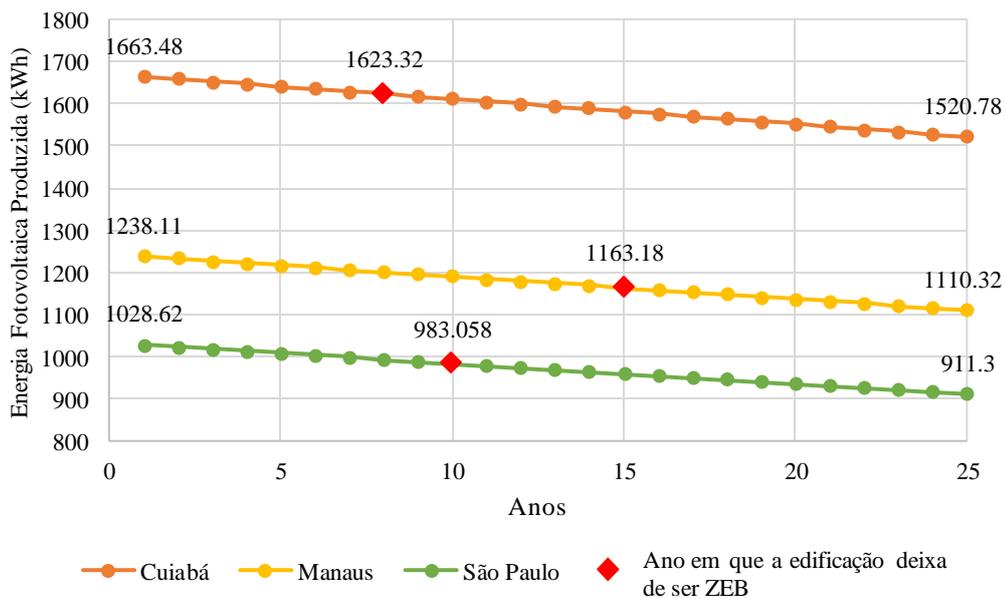


Figura 5: Energia fotovoltaica gerada considerando o decaimento de eficiência dos painéis (kWh/ano). Fonte: elaborado pelos autores.

Mesmo a diferença da demanda total necessária da edificação e o produzido pelos painéis fotovoltaicos depois de 25 anos não tenha passado de 6,45%, é importante entender que, levando em consideração os efeitos do aquecimento global, a demanda por condicionamento tem a tendência de ser ainda mais elevada para os próximos anos, fazendo essa diferença ser significativamente maior. Além disso, caso o mesmo estudo fosse realizado em uma edificação com demanda energética maior, mesmo uma porcentagem pequena do consumo poderia representar um gasto adicional considerável.

4. Conclusão

O dimensionamento e projeto de uma Edificação de Energia Positiva (EEP) inclui a incorporação das estratégias de eficiência energética e a geração de energia local e renovável. As estratégias podem ser passivas, como a melhora da envoltória da edificação. Na geração, os sistemas com painéis fotovoltaicos têm recebido investimentos expressivos nos últimos anos, favorecendo a redução do seu preço e sua popularização.

Ao realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico para uma edificação residencial em três cidades com climas diferentes, podemos constatar que as perdas atuantes em cada caso também variam, dependendo das condições de contorno: número de painéis, irradiação solar e demanda energética. O dimensionamento de um inverter condizente com a demanda da edificação e a quantidade e características dos módulos fotovoltaicos auxilia na redução das perdas de maneira significativa.

Outro fator que age na redução da produção energética do sistema fotovoltaico é o decaimento de eficiência dos módulos, atuante durante toda sua vida útil. Quando projetada uma ZEB com painéis fotovoltaicos como fonte energética, estes devem ser capazes de suprir a demanda de energia durante sua vida útil. Dessa forma, faz-se necessária previsão de uma margem de produção, considerando o decaimento de eficiência e possíveis aumentos de demanda. Somado a isso, deve-se considerar também o decaimento de eficiência dos painéis e as perdas de eficiência.

Na presente pesquisa, nenhum dos três cenários manteve-se resiliente após os 25 anos de vida útil dos painéis, com produção menor que a demanda de 3,92% em São Paulo, 4,74% em Manaus e 6,45% em Cuiabá. Mesmo sendo diferenças pequenas, podem ser significativas em edificações com uma demanda energética muito alta e, como já citado, podem-se somar ao aumento de demanda para condicionamento. No caso das perdas de eficiência dos painéis, os resultados foram semelhantes entre as cidades.

Em pesquisas futuros o efeito das perdas e do decaimento de eficiência, considerando ainda os efeitos do aquecimento global, poderia ser estudado, até o final da vida útil dos painéis. Assim, além da redução da produção energética, existiria, também, o aumento da demanda, nos locais com maior carga de resfriamento de ambientes e uma margem de segurança ou um período para a reavaliação da demanda poderia ser determinado.

Referências

ALPER, A.; OGUZ, O. The role of renewable energy consumption in economic growth: evidence from asymmetric causality. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, p. 953-999, 2016.

ARAÚJO, A. N.; RANK, N. U.; BUENO, T. B. A. **Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em Curitiba**. 2016. 86 f. TCC

(Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

BELUSSI, L.; BAROZZI, B.; BELLAZZI, A.; DANZA, L.; DAVITOFRANCESCO, A.; FANCIULLI, C.; GHELLERE, M.; GUAZZI, G.; MERONI, I.; SALAMONE, F.; SCAMONI, F.; SCROSATI, C. A Review of Performance of Zero Energy Buildings and Energy Efficiency Solutions. **Journal of Building Engineering**, v. 25, n. December 2018, p. 100772, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100772>>

BP. Energy Outlook 2004. **Energy Outlook**, p. 1-579, 2004.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Inmetro. Portaria n° 42, de 24 de fevereiro de 2021. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Diário Oficial da União, Brasília - DF, 2021.

CHAAR, L. El; LAMONT, L.A.; ZEIN, N. El. Review of photovoltaic technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 5, p. 2165-2175, jun. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.004>.

EKICI, S.; KOPRU, M. A. Investigation of PV System Cable Losses. **International Journal of Renewable Energy Research**. p. 1-9. 15 jan. 2017.

EPA - Environmental Protection Agency. **Clean Power Plan**. 2015

EPA - Environmental Protection Agency. **Energy Independence**. 2017. <https://epa.gov/energy-independence>

EPE. Relatório Síntese: **BEN 2020 - ano base 2019/2020**. p. 73. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>

EUROPEAN UNION. **Directive 2009/28/EU of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009. Official Journal of the European Union**. 2009.

EUROPEAN UNION. **Directive 2018/2001/EU of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018. Official Journal of the European Union**. 2018.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, **Climate Change 2014: Synthesis Report**, Geneva, Switzerland, 2014. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.003>

ITO, K. CO2 emissions, renewable and no-renewable energy consumption, and economic growth: evidence from panel data for developing countries. **Int Econ**, v. 151, p. 1-6, 2017

JAMIL, W. J.; RAHMAN, H. A.; SHAARI, S.; SALAM, Z. Performance degradation of photovoltaic power system: review on mitigation methods. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 876-891, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.072>.

JORDAN, D. C.; KURTZ, S. R. **Photovoltaic Degradation Rates: an analytical review**. NREL. p. 1-32. jun. 2012.

KAVLAK, G.; J. McNERNEY; J. E. TRANCIK. Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules. **Energy Policy**, Si, v. 123, n. 8, p. 700-710, out. 2018.

LOLLI, N.; LIEN, A. G.; RØNNESETH, Ø. Cost Optimization of a Zero-Emission Office Building. **Buildings**, v. 10, n. 12, p. 2-19, 30 nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/buildings10120222>.

SHAHBAZ, M.; RAGHUTLA, C.; CHITTEDEI, R. K.; JIAO, Z.; VO, V. X. The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from the renewable energy country attractive index. **Energy**, v. 207, p. 118162, set, 2020.

SILVERMAN, T. J.; DECEGLIE, M. G.; SUBEDI, I.; PODRAZA, N. J.; SLAUCH, I. M.; FERRY, V. E.; REPINS, I. Reducing Operating Temperature in Photovoltaic Modules. **IEEE Journal of Photovoltaics**. p. 532-540. mar. 2018.

SILVESTRE, S.; CHOUDER, A. Analysis of Power Losses in PV Systems. In: European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 23., 2008, Valencia. **Anais [...]** Valencia, 2008. p. 2805-2807.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterization of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, p. 524-541, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041>.

UNITED NATIONS. **Twelfth Five Year Plan**. 2011. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=99&nr=8&menu=1449>. Acesso em: 18 dez. 2020.

WANG, Q.; WANG, L. Renewable energy consumption and economic growth in OECD countries: A nonlinear panel data analysis. **Energy**, v. 207, p.118200, set, 2020.