ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Estudo do desempenho de brise fotovoltáico em edificação institucional

Study of the performance of photovoltaic shading devices in institutional buildings

Caroline Borges Pilenghi
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | carolinepilenghi@gmail.com
Eduardo Grala da Cunha
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | eduardogralacunha@yahoo.com.br

Resumo

Este estudo avalia o impacto dos brises fotovoltaicos no conforto térmico e na eficiência energética de um edifício público. A pesquisa foi realizada através de simulações computacionais com o SketchUp 2019, plugin Euclid e o software EnergyPlus 9.0.1, aplicadas a uma sala de aula de 49,91 m² no terceiro pavimento de um edifício no Campus Camaquã, RS, ainda em fase de projeto pelo IFSul. O prédio, chamado Multiuso, foi projetado para atender as necessidades dos campi existentes e futuros. Os brises fotovoltaicos verticais foram instalados com inclinação de 25°, perpendiculares à fachada, e os módulos voltados para o norte. Os resultados indicam uma redução na temperatura média anual da sala em 0,32 °C e uma diminuição no consumo de energia elétrica em 426,97 kWh por ano. Além disso, os brises geraram 686,36 kWh de eletricidade anualmente. Este estudo demonstra a eficácia dos brises fotovoltaicos em melhorar o conforto térmico, controlar a radiação solar direta e reduzir o consumo de energia. A pesquisa também destaca a viabilidade de uma abordagem integrada de proteção solar e geração de energia para a zona bioclimática 2, servindo como base para futuras investigações.

Palavras-chave: Conforto térmico. Eficiência energética. Brises fotovoltaicos. Geração de energia elétrica.

Abstract

This study evaluates the impact of photovoltaic brise-soleils on thermal comfort and energy efficiency in a public building. The research was conducted through computational simulations using SketchUp 2019, the Euclid plugin, and the EnergyPlus 9.0.1 software, applied to a classroom of 49.91 m² located on the third floor of a building at the Campus Camaquã, RS, which is still in the design phase by IFSul. The building, named Multiuso, was designed to meet the needs of both existing and future campuses. The vertical photovoltaic brise-soleils were installed with a 25° inclination, perpendicular to the façade, with the panels facing north. The results indicate a reduction in the room's average annual temperature by 0.32°C and a decrease in electricity consumption by 426.97 kWh per year. Moreover, the brise-soleils generated

Como citar:
PILENGHI, C. B.; CUNHA, E. G. Estudo do desempenho de brise fotovoltáico em edificação institucional. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

686.36 kWh of electricity annually. This study demonstrates the effectiveness of photovoltaic brise-soleils in enhancing thermal comfort, controlling direct solar radiation, and reducing energy consumption. The research also highlights the feasibility of an integrated approach to solar protection and energy generation for bioclimatic zone 2, providing a foundation for future studies in this area.

Keywords: Energy efficiency. Photovoltaic shading devices. Electrical energy generation

INTRODUÇÃO

Atualmente, a preocupação com o impacto ambiental é uma das questões mais urgentes em escala global. A adoção de todas as soluções disponíveis para reduzir o consumo de energia elétrica é crucial, e a utilização de fontes renováveis de energia desempenham um papel fundamental na mitigação dos efeitos das atividades humanas sobre o meio ambiente [1].

Os edifícios públicos e comerciais geralmente se destacam por sua tipologia, que frequentemente resulta em uma alta geração de carga térmica e uma demanda energética significativa. Nesse contexto, fatores como as condições climáticas externas, o design arquitetônico e os requisitos de conforto térmico são cruciais para determinar o desempenho térmico e a eficiência energética dessas construções [2].

No cenário atual, a combinação da geração de energia elétrica e a redução da carga térmica em um único elemento só é viável por meio da integração de sistemas solares fotovoltaicos à envoltória dos edifícios [3]. Esse avanço tecnológico permite uma instalação mais fácil e uma capacidade de desempenho significativa. Assim, ao adotar sistemas de energia solar fotovoltaica nas fachadas, é possível alcançar tanto a redução do consumo de energia elétrica quanto o conforto térmico, aproveitando sua função de sombreamento [4]. Dessa forma, a geração de energia a partir da radiação solar está diretamente ligada à diminuição da necessidade de resfriamento do ambiente. Esses dispositivos de sombreamento se revelam uma técnica eficaz para reduzir o consumo total de energia em até 55% [5]. É fundamental ressaltar que a Administração Pública Federal estabeleceu metas para a redução do consumo de energia elétrica, conforme determinado por decretos governamentais, visando assim a diminuição dos gastos do orçamento público federal.

A análise do último relatório do Balanço Energético Nacional [6], referente a 2022, revela um aumento no consumo de eletricidade em todos os setores. O setor Comercial teve o maior crescimento absoluto, com um aumento de 6,8TWh (7,5% em relação ao ano anterior), possivelmente refletindo uma recuperação econômica. O setor Industrial também registrou um aumento significativo de 5,3TWh (2,4%), indicando uma maior produção industrial e demanda por energia. O setor Residencial cresceu 4,5TWh (3,0%), atribuído ao crescimento populacional e uso de dispositivos eletrônicos. O setor público contribuiu com um aumento de 1,9TWh (4,3%), possivelmente devido a investimentos em infraestrutura. Em resumo, o consumo final de eletricidade cresceu 2,3%, com destaque para os setores Comercial, Industrial, Residencial e público, refletindo um aumento na atividade econômica e demanda por energia elétrica em todo o país.

A proposta deste artigo busca introduzir uma abordagem específica em um edifício

público, incorporando o conceito de BIPV (Building Integrated Photovoltaics) no projeto arquitetônico. Isso será realizado através da integração de módulos fotovoltaicos diretamente na estrutura do edifício, inserindo-os nos dispositivos de sombreamento vertical. Este conceito visa não apenas melhorar a eficiência energética e reduzir os custos com energia elétrica, mas também contribuir para o conforto térmico do ambiente, utilizando a própria fachada do prédio e minimizando a necessidade de áreas adicionais. Além disso, os BIPVs promovem a sustentabilidade ambiental. Estas vantagens tornam estes sistemas uma opção cada vez mais popular e atraente para projetos de construção [7].

Neste estudo, realizou-se a modelagem e simulação de uma sala de aula de um novo projeto, concebido pela Diretoria de Projetos e Obras do Ifsul, chamado Prédio Multiuso, que está previsto para ser implementado na maioria dos Câmpus do Instituto.

O objetivo deste estudo é analisar o nível de conforto térmico de sala de aula, por meio de simulações computacionais que permitirão avaliar o impacto da instalação de brises fotovoltaicos nas fachadas do edifício observando o consumo energético. Além de reduzir o calor nos dias quentes de verão, essa solução também possibilitará a geração de energia elétrica e, consequentemente, uma economia significativa nas despesas com ar condicionado. O foco principal é assegurar o conforto e a eficiência energética deste prédio.

OBJETIVO

O objetivo deste artigo é verificar o impacto no conforto térmico e energético resultante da instalação de brises fotovoltaicos. Para isso, serão conduzidos estudos de desempenho térmico e energético na sala de aula de um edifício público, utilizando modelagem e simulação computacional.

MÉTODO

Para atender aos objetivos descritos na pesquisa, serão adotados os seguintes procedimentos metodológicos:

1. Definição do objeto de estudo, que consiste no modelo da edificação a ser analisada.
2. Levantamento do local de instalação do prédio e sua orientação solar.
3. Definição da sala a ser estudada, com todas as suas configurações detalhadas para a modelagem.
4. Realização das simulações e análises térmicas e energéticas da sala, incluindo a análise do consumo e geração de energia elétrica.
5. Apresentação dos resultados obtidos nas simulações e as conclusões decorrentes desses resultados.

O método utilizado caracteriza-se como um estudo de caso com a aplicação de simulação computacional para a obtenção dos resultados pretendidos.

Cabe-se ressaltar que em decorrência da proposta do projeto ser implementado em diferentes campi do IFSUL, não foi desenvolvido um estudo de eficiência do sistema de proteção solar, fazendo-se uso da carta solar. Os autores entendem a necessidade do desenvolvimento do referido estudo quando da definição da orientação solar do projeto, podendo o sistema de proteção solar sofrer ajustes.

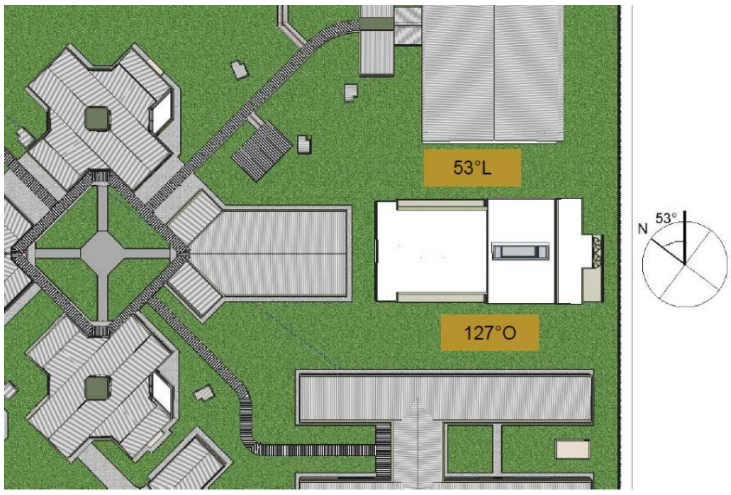
DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O foco desta pesquisa é o Prédio Multiuso, uma estrutura pública que ainda está por ser construída. Este edifício, cujo projeto foi elaborado pela Diretoria de Projetos e Obras (DPO) do IFsul, está planejado para ser instalado em todos os campi do Instituto ao longo dos próximos anos. Ele foi concebido para atender às necessidades primárias dos campi existentes, bem como para servir como base inicial para a implementação de novos campi, se necessário. Neste artigo será analisada a sala de laboratório de informática, que apresenta uma área de 49,91m² com dimensão retangular de 6,62x7,54m e está situada no terceiro pavimento com orientação solar nordeste.

LEVANTAMENTO DA ORIENTAÇÃO E LOCAL DA INSTALAÇÃO DO PRÉDIO

O estudo de caso escolhido foi o projeto do Prédio Multiuso, localizado no Campus Camaquã, situado na cidade de Camaquã/RS, com coordenadas geográficas de aproximadamente 30,9° Sul e 51,8° Oeste, conforme delineado no Plano de Desenvolvimento Físico (PDF), desenvolvido pela DPO (Figura 1).

Figura 1: Localização do Prédio Multiuso no Câmpus Camaquã

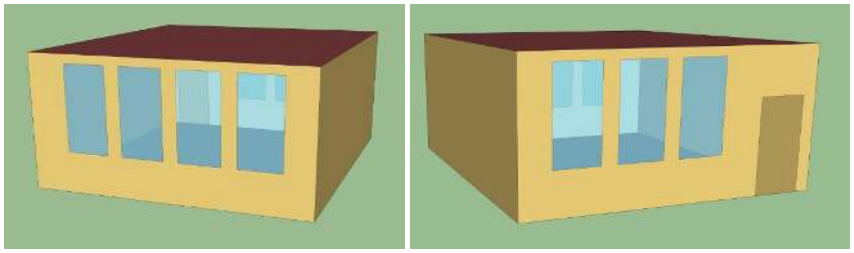


Fonte: o autor.

MODELAGEM DA SALA COM E SEM BRISES FOTOVOLTAICOS

A geometria da sala foi modelada usando o *software Sketchup* 2019 com o plugin Euclid versão 9.4.3 (Figura 2). Depois de configurar o modelo 3D com as propriedades das superfícies e da área térmica, o modelo foi configurado no EnergyPlus 9.0.1. Neste ponto, foi incorporado o arquivo climático de Camaquã a realização da simulação. Nesta etapa a simulação foi realizada sem a composição dos brises.

Figura 2: Modelagem da sala no *software Sketchup* sem os brises.



Fonte: o autor.

A sala foi projetada com bloco de concreto de dimensão 14x29x19 cm, com revestimento externo de 2,7cm e revestimento interno de 1,5cm. O piso e as paredes internas ao prédio, foram considerados adiabáticas, ou seja, sem trocas térmicas entre elas. A (Tabela 1) mostra as formações das camadas e dos materiais utilizados.

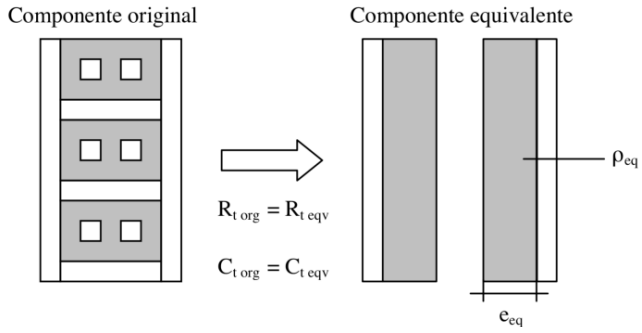
Tabela 1: Formação das camadas das paredes externas no *Class list: Construction*

	CAMADAS	MATERIAL	ESPESSURA (cm)	CONDUTIVIDADE (W/m.k)	DENSIDADE (Kg/m³)	CALOR ESPECÍFICO (J/Kg.K)
	1°	Chapisco+massa única	2,7	1,15	2000	1000
	2°	Bloco Concreto	4,36	1,75	2400	1000
	3°	Câmara de ar	**Resistência Térmica: 0,17 m².k/**W			
	4°	Bloco concreto	4,36	1,75	2400	1000
	5°	Argamassa	1,5	1,15	2000	1000

Fonte: o autor.

No entanto, o software EnergyPlus 9.0.1. não reconhece fechamentos compostos por camadas heterogêneas, como é o caso desta parede, sendo assim, foi criada uma parede equivalente com as mesmas propriedades de transmitância térmica e capacidade térmica da parede real [8]. A (Figura 3) demonstra a transformação da parede real para a parede equivalente.

Figura 3: Parede Equivalente



Fonte: Ordenes et al. (2003)

Legenda:

Rt: resistência térmica de superfície à superfície [(m2 K)/W];

Ct: capacidade térmica [kJ/(m2 K)];

eeq: espessura equivalente [m]; e

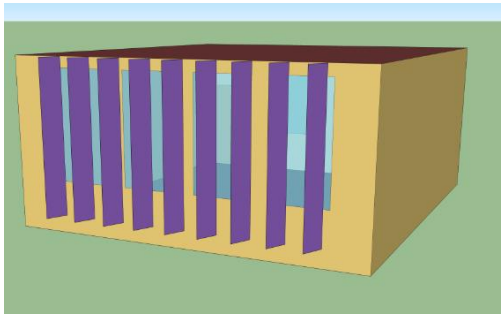
ρeq: densidade de massa aparente da camada equivalente [kg/m3].

De acordo com a NBR 16401 [9] foram determinados os valores de setpoint de heating 22,5°C e de cooling 25,5°C para acionamento do condicionamento artificial. O valor estabelecido para acionar a ventilação natural, ou seja, a abertura das janelas, é de 25°C.[15].

Em função do tipo de atividade e ocupação do ambiente foram determinadas as densidades de potência da iluminação, dos equipamentos elétricos e do metabolismo de cada ocupante. De acordo com a ASHRAE Standard 55 [10], o corpo humano tem em média uma taxa metabólica de 1,8 met., com uma dissipação de potência de 55W/m² realizando atividade de escritório, estando o indivíduo sentado. Portanto, neste trabalho, foi considerado o valor de 99 W para o metabolismo. Para a iluminação foi utilizado o valor de 288W, conforme planta do projeto elétrico. Para os equipamentos foi utilizado o valor de 21,5W/m² de densidade de potência, conforme determinado pela NBR 16401 [9], sendo este valor correspondente a um tipo de carga alta (1 computador para cada pessoa). A ocupação da sala foi vinculada a área, sendo esta de 1,5 m² para cada pessoa, assim como ao período de utilização da sala, sendo esta das 8h até as 17:30h.

Na segunda etapa, para a simulação da sala com os brises, foi realizada a modelagem de nove brises fotovoltaicos, verticais, utilizando *shadings groups* (dispositivos de sombreamento), com 25° de inclinação, perpendicular à fachada, com a face dos módulos fotovoltaicos voltada para o norte e, 10 cm de afastamento, na parede da fachada Nordeste, criando assim uma câmara de ar totalmente ventilada (Figura 4).

Figura 4: Modelagem dos brises na sala



Fonte: o autor.

Estes *shadings groups* foram configurados como elementos externos, geradores Foto Voltaicos (FV), ou seja, geradores de energia elétrica. Assim, não foram configurados no *EnergyPlus* como um dos materiais nas camadas da composição das paredes.

A disposição e orientação dos brises fotovoltaicos foi realizada seguindo as diretrizes da empresa Garantia Solar BIPV.

A configuração dos módulos fotovoltaicos no *software EnergyPlus* foi realizada através do *PhotovoltaicPerformance:Simple* e do *ElectricLoadCenter:Inverter:Simple* [11].

O módulo empregado para esta simulação foi o de filme fino flexível com tecnologia CIGS (cobre-índio-gálio-selênio), considerando os dados informados no *datasheet* do módulo flex 03 – 125N [12], da empresa americana de energia fotovoltaica Miásole, conforme apresentados na (Tabela 2).

Tabela 2: Performance elétrica do módulo flex-03N

PERFORMANCE ELÉTRICA AT STC[1]		FLEX-03 110N	FLEX-03 115N	FLEX-03 120N	FLEX-03 125N	FLEX-03 130N	FLEX-03 135N	FLEX-03 140N
Potência Nominal	[W]	110	115	120	125	130	135	140
Eficiência	[%]	14.4%	15.0%	15.7%	16.4%	17.0%	17.7%	18.3%
Tensão máxima de potência	[V]	28.4	29.3	30.3	31.2	32.1	33.0	33.9
Corrente máxima de potência	[A]	3.89	3.93	3.97	4.01	4.06	4.10	4.14
Tensão de circuito aberto	[V]	36.3	37.0	37.8	38.6	39.4	40.1	40.9
Corrente de curto circuito	[A]	4.66	4.62	4.58	4.53	4.49	4.45	4.41
Classificação máx do fusivel em série	[A]	10						
Tensão máxima do sistema (IEC/UL)	[V]	1000/1000						
[1]Standard Test Conditions (STC): 1000W/m², 25°C cell temperature, AM 1.5 spectrum								

Fonte: *Datasheet* do módulo flex - 03N. Adaptado pelo autor.

Esta tecnologia tem como principal característica alta densidade de potência por quilograma em um módulo solar, fornecendo mais de quatro vezes a geração de energia por quilograma de silício, possibilitando o uso de camadas mais finas do que as que seriam utilizadas com outros modelos de semicondutor.

Por ser o filme fino flexível e leve, sua instalação se adapta a qualquer estrutura, adequando-se ao projeto arquitetônico. Pesando apenas dois quilos, os módulos flexíveis de CIGS, podem ser uma solução integrada de estrutura metálica e brises fotovoltaicos, respeitando a capacidade de peso da edificação. A (Figura 5) apresenta a instalação dos brises fotovoltaicos utilizando filmes flexíveis no edifício Germinare Business.

Figura 5: Modelagem dos brises na sala



Fonte:https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/predio-em-sp-gera-energia-solar-com-brises-fotovoltaicos/o autor.

RESULTADOS

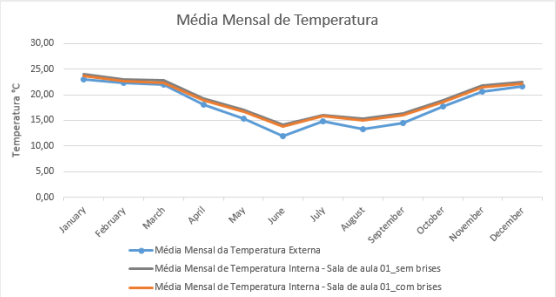
Nesta etapa são apresentados os resultados das simulações, segundo uma análise de conforto térmico, consumo de energia elétrica e geração de energia elétrica.

CONFORTO TÉRMICO – IMPACTO DOS BRISES NA TEMPERATURA INTERNA

Através dos gráficos da (Figura 6) e (Figura 7), verifica-se que não há uma alteração tão significativa com relação as médias mensais de temperatura do ar internamente. Esta

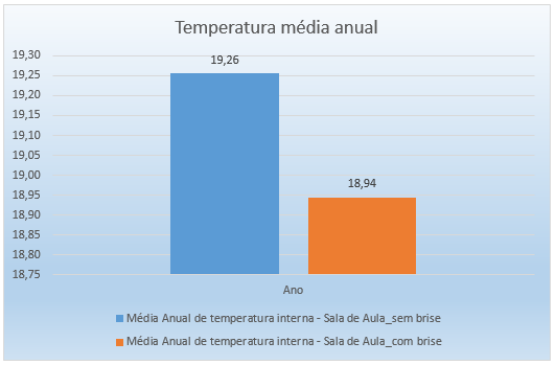
diferença fica mais visível quando se analisa a média anual, indicando que a utilização dos brises promove uma redução no valor de temperatura no ambiente interno de 0,32°C.

Figura 6: Temperatura média mensal



Fonte: o autor

Figura 7: Temperatura média anual.

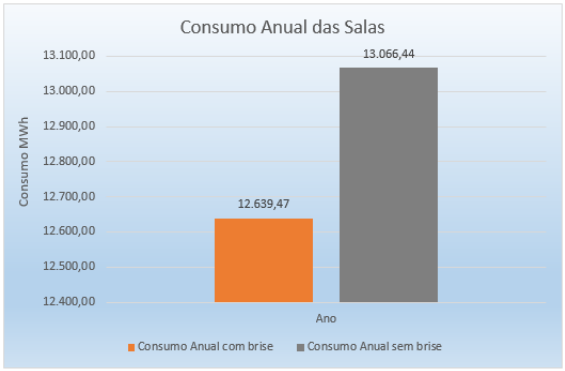


Fonte: o autor.

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A (Figura 8) apresenta o consumo anual da sala com e sem a aplicação de brises fotovoltaicos na fachada nordeste.

Figura 8: Consumo anual da sala com e sem brise.



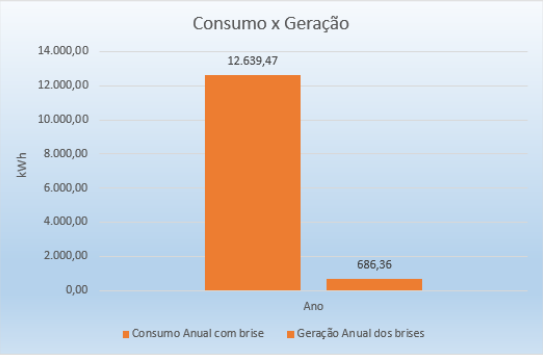
Fonte: o autor.

Com a implementação dos brises fotovoltaicos, observa-se uma diminuição de 426,98Wh no consumo anual de energia elétrica da sala.

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Durante a simulação dos nove brises fotovoltaicos instalados na fachada nordeste da sala de aula, obteve-se um resultado de 686,36 kWh de geração de energia elétrica por ano. O gráfico da (Figura 9) evidencia a discrepância entre a energia consumida e a energia elétrica gerada, sendo que o valor gerado equivale a aproximadamente 5,75% do consumo total de energia.

Figura 9: Consumo e geração anual de energia elétrica.



Fonte: o autor.

Este estudo, que contempla a instalação de 9 módulos de filme fino, prevê um potencial de 137 Watt/pico por metro quadrado, considerando que cada módulo fotovoltaico possui uma área aproximada de 0,9 m². Com o auxílio do software Radiasol versão 2.1 foi possível obter os valores de irradiância solar para esta instalação, sendo a média anual de 2,24 kWh/m².dia. Com base nestes dados, é possível estimar a geração de energia elétrica por metro quadrado de área do sistema solar. Basicamente, multiplica-se o potencial de um metro quadrado de painel fotovoltaico pela incidência solar diária. Neste contexto, observa-se que cada metro quadrado de área instalada com brise fotovoltaico gera aproximadamente 88kWh por ano.

CONCLUSÃO

O artigo foi conduzido com o propósito de fornecer informações relevantes para a implementação do conceito de BIPV (Building Integrated Photovoltaics) na fachada deste importante prédio público.

Os resultados demonstram que o objetivo do trabalho foi atingido. Os dados apresentados permitem uma análise substancial do impacto térmico e energético resultante da instalação dos brises fotovoltaicos.

A instalação de brises na fachada nordeste proporcionou não apenas economia, mas também a geração de energia elétrica, integrando um elemento clássico da arquitetura com um conceito tecnológico na edificação do Instituto Federal.

Através do controle da radiação solar, este trabalho possibilitou uma redução no consumo de climatização em 3,36%, uma diminuição da temperatura em 0,32°C

quando o prédio é ventilado naturalmente, e uma geração anual de 686,36 kWh de energia elétrica.

Este artigo contribuiu para a discussão sobre a abordagem integrada de proteção solar e geração de energia simultaneamente, especificamente para a zona bioclimática 2. Ele demonstra a viabilidade dessa abordagem e oferece uma base útil para outros trabalhos em desenvolvimento nessa temática.

Como limitações, e apontando para futuros trabalhos, há a necessidade de um estudo mais aprofundado na área de geometria solar para avaliar a eficiência dos brises no controle da radiação solar direta. Isso contribuirá não apenas para o conforto visual do ambiente interior, mas também para a eficiência térmica e energética do edifício.

REFERÊNCIAS

[1] CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais.** Florianópolis, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

[2] MARCONDES, P. **Soluções Projetuais de Fachadas para Edifícios de Escritórios com Ventilação Natural em São Paulo**. 2010. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-10112010-102255/pt-br.php. Acesso em: Março de 2024.

[3] DÁVI, G. A. **Avaliação do comportamento energético de um edifício residencial à energia neto positiva com sistema solar fotovoltaico conectado à rede (SFVCR)**. Florianópolis, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

[4] Zhang, X., Lau, S.K., Lau, S.S.Y., Zhao, Y., 2018. Photovoltaic integrated shading devices (PVSDs): A review. Sol. Energy 170, 947–968. https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.05.067

[5] Uribe, D., Bustamante, W., Vera, S., 2018. Potential of perforated exterior louvers to improve the comfort and energy performance of an office space in different climates. Build. Simul. 11, 695–708. https://doi.org/10.1007/s12273-018-0435-y

[6] EPE -EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional 2023: ano base2022**, Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico681/BEN_S%C3%ADntese_2023_PT.pdf. Acesso em : 01 julho.2023

[7] LI, T.; ROSKILLY, A. P.; WANG, Y. **Life cycle sustainability assessment of gridconnected photovoltaic power generation: a case study of northeast england**. Applied Energy, [s.l.], v. 227, p. 465-479, out. 2018.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações, 2003.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários, 2008

[10] AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2013.

[11] ENERGYPLUS. **Input Output Reference**. The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output. November 11, 2008.

[12] SOLE, Mia. The Leader In Flexible, Powerful, Lightweight and Shatterproof Thin-Film Solar. Santa Clara, Califórnia, USA: Mia Solé, 2022.