



## XVII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR

São Paulo Expo – 23 à 25 de novembro de 2021

### IMPACTO DO USO DE PAINÉIS SOLARES NA CARGA TÉRMICA DE UM EDIFÍCIO PÚBLICO

#### RESUMO

O consumo energético em edificações sofreu um acréscimo considerável nas últimas décadas, principalmente o relacionado ao uso mais frequente de sistemas de climatização artificiais impulsionado pelas mudanças climáticas. As microgerações, principalmente as fontes solar fotovoltaicas (FV), podem atender a esse aumento na demanda. A fonte solar fotovoltaica é uma importante fonte renovável de energia elétrica. Dentro deste conceito, o uso de sistemas fotovoltaicos nas edificações vem ganhando destaque por permitir descentralizar a produção de energia elétrica convencional. Neste contexto, este artigo avaliou a influência do sombreamento de painéis fotovoltaicos na carga térmica de resfriamento de um edifício público localizado na cidade de São Carlos com a utilização do programa EnergyPlus. A construção é composta de dois pavimentos e subdividida em 20 salas de docentes e 2 salas administrativas com atividades similares de um escritório de ocupação leve. Os painéis FV foram posicionados na área disponível sobre o telhado e com coeficiente de sombreamento inferior a 5%, enquanto se adotou uma eficiência dos módulos constante e igual a 15%. Os resultados demonstram uma redução de até 3,2% na carga térmica anual, com valores médios de 5% e 1% para o primeiro pavimento e o térreo, respectivamente. Relacionado a geração e consumo de energia elétrica, o prédio teve capacidade de se auto sustentar e produzir um superávit anual de 20386 kWh, que permitiria prover outro edifício de mesmo porte.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética. Fonte Solar Fotovoltaica. Carga térmica. EnergyPlus.

#### ABSTRACT

Energy consumption in buildings has been growing in recent decades, especially those related to the more frequent use of artificial air conditioning systems driven by climate change. Microgenerations, especially solar photovoltaic (PV) sources, can meet this increase in demand. The photovoltaic solar source is an important renewable source of electrical energy. In this sense, the use of photovoltaic systems in buildings has been gaining prominence for allowing the decentralization of the production of conventional electric energy. In this context, this article evaluated the influence of the shading of photovoltaic panels on the thermal cooling load of a public building located in the city of São Carlos using the EnergyPlus program. The building consists of two floors and subdivided into 20 professor rooms and 2 administrative rooms, with similar activities as a light occupation office. The PV panels were positioned in the available area on the roof and had a shading coefficient of less than 5%, while the efficiency of the modules was constant and equal to 15%. The results show a reduction of up to 3.2% in the annual thermal load, with average values of 5% and 1% for the first and ground floors, respectively. Related to the generation and consumption of electricity, the building had the capacity to self-sustain itself and produce an annual surplus of 20386 kWh, which would allow the provision of another building of the same size.

**Keywords:** Photovoltaic. Thermal load. EnergyPlus.

## 1 INTRODUÇÃO

O uso crescente de energia tem suscitado preocupações relacionadas a dificuldades de abastecimento dos recursos energéticos e o seu

esgotamento, além dos impactos ambientais causados, tais como a destruição da camada de ozônio, aquecimento global, mudanças climáticas, entre outros (DELTA CABLE, 2017).

A contribuição de edificações para o consumo de energia, comercial e residencial abrange valores situados na faixa compreendida entre 20% e 40% em países desenvolvidos, excedendo os setores que tradicionalmente demandam energia, como os de transporte e o industrial (DELTA CABLE, 2017).

Diante disso, é importante enfatizar que a construção sustentável está comprometida com a redução do consumo de energia e de recursos ao longo das fases do ciclo de vida dos edifícios, abrangendo, portanto, desde o seu planejamento até a sua efetiva construção e posterior uso, reforma e eventual demolição (GEORGI, 2015).

Em geral, o crescimento populacional pode ser visto como a fonte do aumento da demanda por serviços de construção e maiores níveis de conforto. Para reduzir a demanda por energia elétrica, o uso de tecnologias demonstra a sua necessidade.

Diante disso, tem-se a eficiência energética relacionada ao fornecimento de condições ambientais desejadas, consumindo ao mesmo tempo uma quantidade mínima de energia. Esta é tida como sendo a mais eficaz de redução das emissões de dióxido de carbono, promovendo melhorias tanto para as famílias como para as empresas (DALLABRIDA; GONÇALVES; PIOVESAN, 2015).

As medidas convencionais passíveis de serem utilizadas para fins de melhorias no desempenho energético de edifícios classificam-se naquelas que possuem relação imediata com a envoltória do edifício. É o caso, por exemplo, dos elementos de construção, bem como daqueles que estão relacionados à operação dos sistemas de energia usada para aquecimento, refrigeração, abastecimento de água quente, ventilação etc (MARANGONI et al, 2015).

A energia demandada para a parte operacional dos edifícios pode ser reduzida significativamente pela adoção de soluções técnicas diversas, como, por exemplo, melhorar o isolamento térmico aplicado na envoltória do edifício (DALLABRIDA; GONÇALVES; PIOVESAN, 2015).

De igual modo, pode-se reduzir a energia incorporada com a realização de uma reestruturação/remodelação apropriada, por meio da reciclagem e do reuso de componentes e materiais. Contudo, para que isso possa ocorrer, é preciso elaborar estudos sobre o impacto ambiental dos edifícios, a fim de evitar problemas de mudanças de uma para outra parte do ciclo de vida ou de uma para outra área geográfica (DALLABRIDA; GONÇALVES; PIOVESAN, 2015).

Um aspecto crítico que abrange tanto o projeto como a fase operacional de um edifício é a etapa na qual é necessário tomar decisão sobre a implementação de ações voltadas à reabilitação ou renovação da edificação, é a avaliação e adaptação das medidas alternativas a partir de um conjunto de critérios, como fatores sociais, segurança, qualidade do

ambiente interior, custo operacional e de investimento, desempenho ambiental, consumo de energia, dentre outros (MARANGONI et al, 2015).

No estudo realizado por Ara (2010), aplicando fontes solar fotovoltaicas em um edifício de vinte pavimentos, foi verificada melhoria do desempenho energético com redução de 28% e de 71% da energia elétrica que consumiriam os equipamentos de ar condicionado em um sistema convencional em um dia de verão e de inverno, respectivamente.

Monteiro (2018) também verificou resultados positivos com a aplicação de painéis solares em edifícios públicos para autoconsumo fotovoltaico, identificando uma energia produzida de 377 MWh por ano, uma TIR (Taxa Interna de Retorno) de 14,5 % com um Pay-Back de 8 anos.

Por sua vez, Dias (2020) analisou o potencial de aproveitamento de energia solar fotovoltaica nos edifícios do Município de Santarém, identificando área total de 98,7 ha de coberturas com potencial fotovoltaico no referido município, sendo esta capaz de produzir 280 GWh/ano e evitar 43,9 kt CO<sub>2</sub>/ano de emissões.

Conforme é possível verificar, estudos já vêm sendo realizados sobre o potencial de uso dos painéis fotovoltaicos nas edificações, todavia, não quantificam os resultados em relação à carga térmica, além de serem escassos, dificultando a comparação de resultados. Um painel fotovoltaico possui uma distribuição térmica em função da radiação térmica, convecção natural ou com vento e radiação solar incidente, mas pode ser usado para diminuir a incidência de radiação solar nas edificações (Zhou et. al 2015). Neste estudo considera-se a carga térmica que, de acordo com Ashrae (2006), é o calor gerado a partir da transferência de calor através das superfícies do ambiente refrigerado.

Tomando-se por base as considerações pontuais aqui apresentadas, bem como tendo-se em vista que, com a demanda de energia elétrica, é preciso rever conceitos a fim de reduzir os gastos desnecessários e planejar formas de aproveitar os recursos naturais disponíveis.

Nesse contexto, o presente artigo tem por objetivo analisar a transferência de calor em um edifício após a inserção de painéis fotovoltaicos.

## **2 MÉTODOS**

O procedimento metodológico é dividido em “6” partes descritas a seguir.

### **- Definição geométrica e propriedades da envoltória.**

O edifício de estudo é composto por salas de docentes e secretarias dos departamentos de Engenharia Elétrica e Mecânica da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), que está localizada na área norte do campus de São Carlos (UFSCar). A edificação apresenta forma retangular com 9,40 m de largura, 25,12 m de comprimento e uma altura total de 8,40 m, enquanto suas maiores fachadas estão voltadas na direção norte e sul. Esse prédio é

composto por 20 salas de professores, dispostas da seguinte forma: 8 salas no pavimento térreo e 12 no primeiro pavimento, além de 2 salas administrativas no pavimento térreo. Nesse prédio ainda existem 1 corredor de acesso em cada pavimento, 1 escada de acesso entre os pavimentos, 1 casa de elevador e áreas de uso comum (1 copa, 2 banheiros e 1 dispensa em cada pavimento). A **Figura 1** proporciona uma vista geral do campus de São Carlos e a localização da edificação.

**Figura 1** – Mapa geral da área do campus da UFSCar



Fonte: Autores.

As paredes externas apresentam dimensão de 24 cm e é composta por bloco concreto 19x19x39 cm e 5 cm de argamassa, distribuídas igualmente na face exterior e interior. A fachada externa apresenta coloração bege clara, com exceção de uma faixa de 5,5 m que sobe do chão até o teto na parede norte com revestimento de piso cerâmico de cor marrom.

As lajes são do tipo pré-moldada com lajota L20 e uma camada de concreto de 4 cm. O forro é do tipo bem ventilado e apresenta uma telha metálica zipada com pintura branca, enquanto sua inclinação é de 5% na direção sul para o norte. As janelas são de vidro laminado e cobrem a maior parte das fachadas sul e norte, e com proteção do tipo brise na direção norte. As portas das salas são de madeira comum com 25 mm de espessura.

A **Tabela 1** proporciona os principais elementos construtivos utilizados, seus componentes e suas propriedades termofísicas.

**Tabela 1** – Principais componentes construtivos, seus elementos e suas propriedades termofísicas.

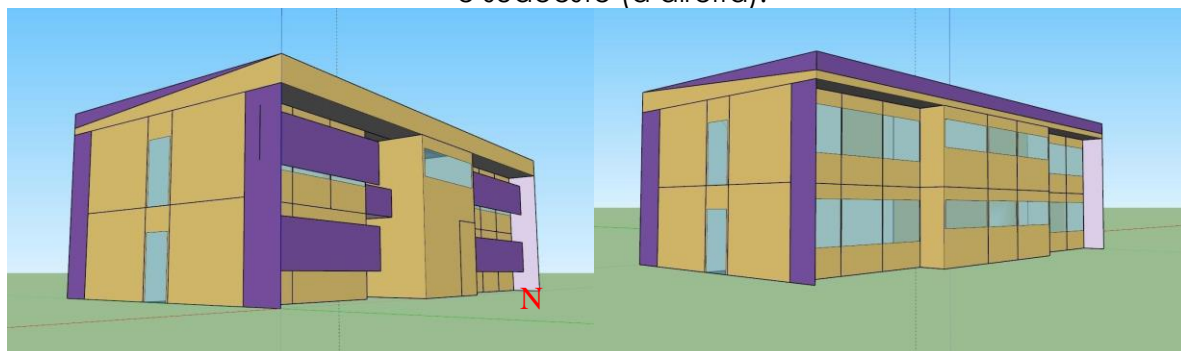
Componente Construtivo	Material	esp. (m)	K (W/mK)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (J/kgK)	R <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> K/W)	A (adim.)
<b>Superfícies Opacas</b>							
Parede 25 cm	Argamassa	0,05	1,15	2000	1000	--	0,35
	Azulejo marrom						0,60
	Bloco concreto 19x19x39	0,06	1,75	2400	1000	--	--
	Câmara de ar	--	--	--	--	0,127	--
Lajota 20 cm	Concreto	0,08	1,75	2200	1000	--	--
	Cerâmica 24x7x20	0,12	1,05	2000	920	--	--
	Câmara de ar					0,081	
	Argamassa laje	0,01	1,15	2000	1000		
Telha metálica	Aço galvanizado	0,0005	55	7800	460	--	0,20
Porta madeira	Madeira	0,025	0,15	608	1630	--	--
<b>Superfícies Translúcidas</b>							
Componente Construtivo	Material	esp. (m)	K (W/mK)				FS
Janelas/portas	Vidro	0,004	--0,90	--	--		0,87

Fontes: ABNT (2005);

Utilizou-se do programa EnergyPlus versão 8.7 com auxílio do *plugin* Euclid 0.9.3 para modelagem da envoltória e das zonas térmicas. As medidas da absorvância da argamassa e azulejos externos foram obtidas com auxílio do equipamento ALTA II (DORNELLES, 2008). As **Figuras 2 e 3** oferecem vistas do modelo de simulação e real, respectivamente, nas direções nordeste e sudoeste.

As medidas das transmitâncias térmicas são de 2,57 W/m<sup>2</sup>K das paredes externas, 3,36 W/m<sup>2</sup>K da laje pré-moldada, 1,20 W/m<sup>2</sup>K das portas de madeira e 5,73 W/m<sup>2</sup>K dos vidros; para o teto, levando-se em conta a presença da laje, de um forro bem ventilado e da telha metálica, seu coeficiente global de transferência de calor é de 1,17 W/m<sup>2</sup>K segundo metodologia proposta pela norma ABNT 15220 (ABNT, 2005).

**Figura 2** – Vista externa do modelo de simulação na direção nordeste (à esquerda) e sudoeste (à direita).



Fonte: Autores.

**Figura 3** – Vista externa da edificação na direção nordeste (à esquerda) e sudoeste (à direita).



Fonte: Autores.

- **Padrão de uso, cargas térmicas internas e taxas de renovação de ar.**

Supõe-se que o padrão de ocupação dos ambientes ocorra das 7:00 às 12:00 e das 14:00 às 18:00 nos dias úteis e esteja desocupado durante os finais de semana. Adota-se o mesmo modelo de uso dos sistemas de iluminação e de equipamentos elétricos.

A **Tabela 2** fornece informações da identificação dos ambientes, tipo de atividades exercidas, suas áreas, potências de iluminação instalada e número de pessoas por local. Ressalta-se que as salas SD01 a SD08 e as secretarias encontram-se no pavimento térreo, enquanto as salas SD09 a SD20 estão no primeiro pavimento.

Para as cargas térmicas de pessoas e equipamentos utiliza-se, respectivamente, taxas de dissipação de 130 e 75 W/pessoa (ABNT, 2008). A taxa de renovação de ar ocasionado pela infiltração foi suposta ser de 1 renovação por hora devido a presença de portas e janelas em duas paredes opostas.

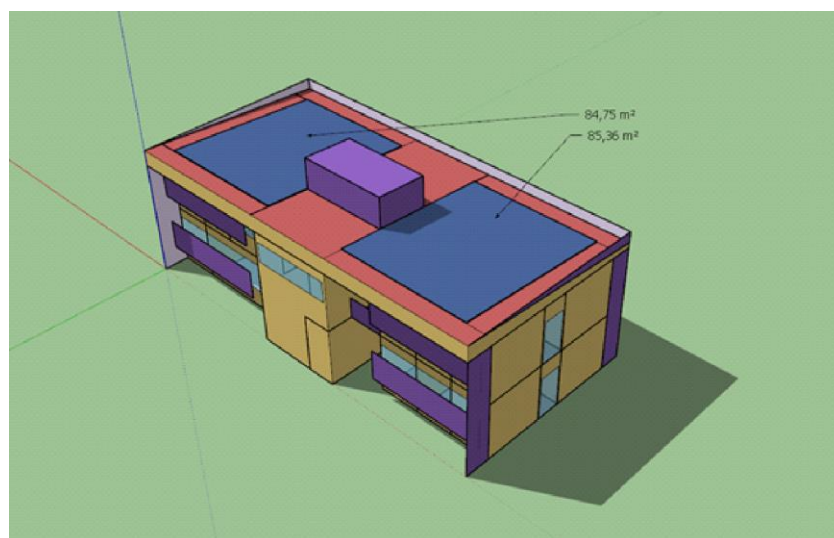
**Tabela 2** – Identificação das principais zonas térmicas, tipo de atividade física, área do ambiente e potência de iluminação instalada.

ID do Ambiente	Função Atividade	Área (m <sup>2</sup> )	Potência Iluminação Instalada (W)	Número de pessoas
SD001	Escritório Ativid.	9,06	130	1
SD002	Escritório Ativid.	9,06	130	1
SECRETARIA 1	Escritório Ativid.	18,28	260	3
SECRETARIA 2	Escritório Ativid.	18,26	260	1
SD003	Escritório Ativid.	9,07	130	1
SD004	Escritório Ativid.	8,69	130	1
SD005	Escritório Ativid.	9,21	130	1
SD006	Escritório Ativid.	9,07	130	1
SD007	Escritório Ativid.	8,69	130	1
SD008	Escritório Ativid.	9,21	130	1
CIRCULAÇÃO T	Circulação	63,02	-	-
ESCADAS	Circulação	17,35	-	-
CIRCULAÇÃO 1	Circulação	63,02	-	-
SD009	Escritório Ativid.	9,07	130	1
SD010	Escritório Ativid.	8,69	130	1
SD11	Escritório Ativid.	9,21	130	1
SD12	Escritório Ativid.	9,07	130	1
SD13	Escritório Ativid.	8,69	130	1
SD14	Escritório Ativid.	9,21	130	1
SD15	Escritório Ativid.	9,15	130	1
SD16	Escritório Ativid.	8,68	130	1
SD17	Escritório Ativid.	9,06	130	1
SD18	Escritório Ativid.	8,66	130	1
SD19	Escritório Ativid.	8,69	130	1
SD20	Escritório Ativid.	9,06	130	1

Fonte: Autores.

- **Disposição dos painéis fotovoltaicos.**

**Figura 4** – Esquema das áreas disponíveis para inserção dos painéis fotovoltaicos sobre a cobertura.



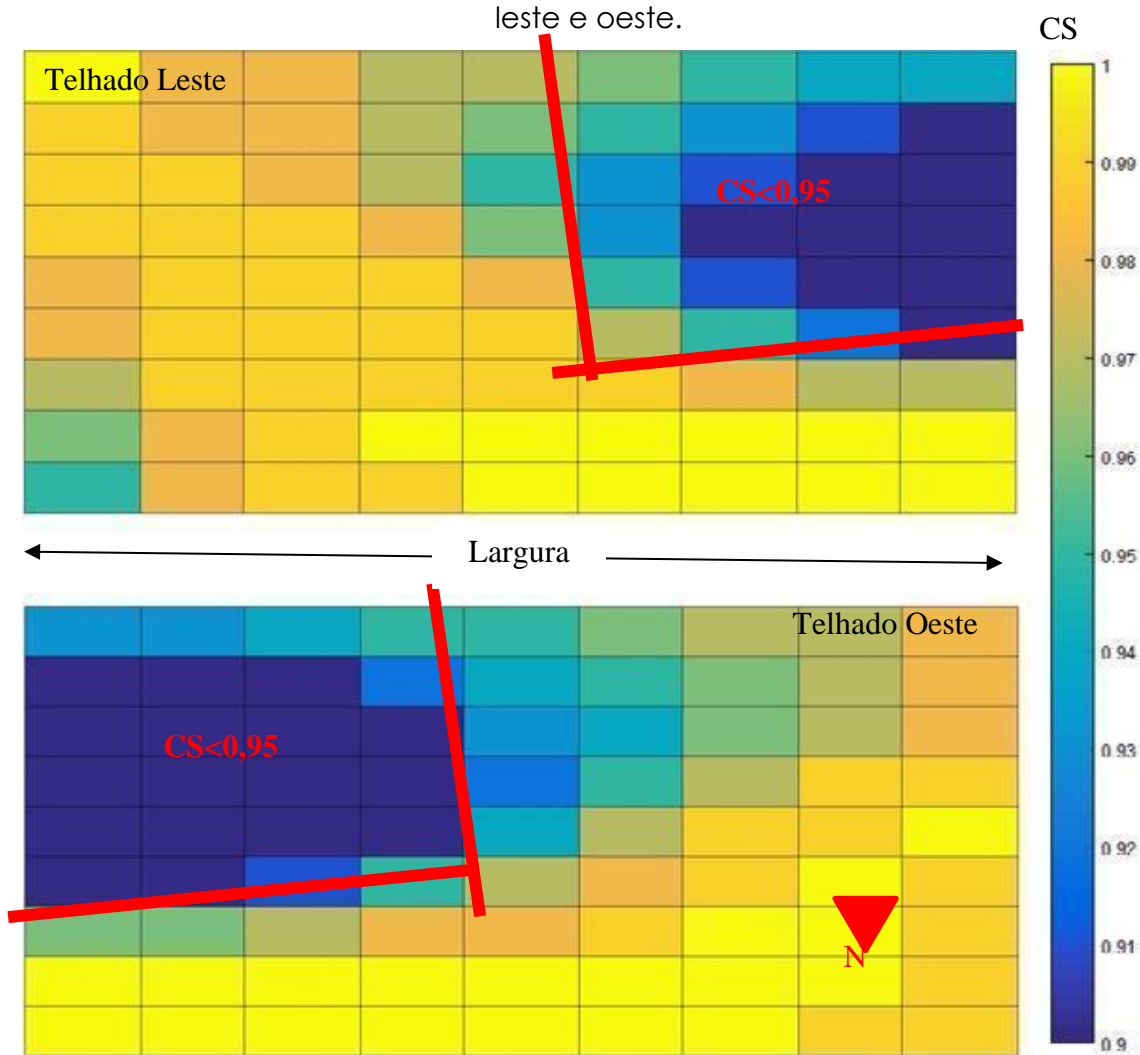
Fonte: Autores.

A possibilidade de sombreamento parcial ocasionado pela própria edificação, além de apresentarem limitação de posicionamento dos módulos fotovoltaicos, tendem a comprometer a sua geração de energia (ZOMER; RUTHER, 2017). Nesse sentido, avaliou-se as melhores posições de inserção dos módulos sobre a cobertura.

A **Figura 4** apresenta esquema das áreas disponíveis no teto da edificação que permitem a instalação do sistema FV e seja de fácil acesso. Entretanto, deve-se destacar a possibilidade de sombreamento nesses painéis devido à estrutura da caixa de água e das muretas laterais.

Para contornar esse problema, estudou-se o coeficiente de sombreamento (CS) de cada região disponível através de uma malha de 10x10 elementos sendo empregado do algoritmo **ShadowCalculation** do programa Energyplus com objeto de saída "**Surface Outside Face Sunlit Fraction**". O período de análise ocorreu das 8 às 18h durante um ano.

**Figura 5** – Gráfico de superfície dos coeficientes de sombreamento dos telhados leste e oeste.



Fonte: Autores.



Antes das 8 e após as 18:00, embora possa existir taxas de irradiação solar, suas parcelas direta e difusa são pequenas quando comparadas ao restante do dia.

A **Figura 5** proporciona a discretização dos coeficientes de sombreamento dos telhados leste e oeste com destaque para as regiões com CS menores que 0,95, que se encontram na parte sul próximas da caixa d'água. Seguindo procedimento proposto por (ACADEMIA DO SOL, 2020), essas regiões foram descartadas, restando no total uma área útil de instalação dos painéis de 136,05 m<sup>2</sup>, que corresponde a aproximadamente 70% da área total do telhado.

O sistema fotovoltaico foi modelado no *software* EnergyPlus através dos objetos "**PhotovoltaicPerformance:Simple**", "**ElectricLoadCenter:Generators**", "**ElectricLoadCenter:Inverter:Simple**" e "**ElectricLoadCenter:Distribution**". Adotou-se uma performance dos painéis de 15% e constante, e com eficiência do inversor de 98%.

#### - **Sistema de climatização artificial.**

Para avaliar as cargas térmicas de refrigeração empregou-se da classe **HVAC Templates** e objeto "**HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem**". Considerou-se uma temperatura de set point de 24°C (ABNT, 2008) para ativação do ar condicionado e que este opere somente nos períodos de ocupação. Adotou-se um coeficiente de performance geral do equipamento de 3,2.

#### - **Casos simulados.**

Nas simulações, empregou-se do arquivo climático da cidade de São Carlos-SP "**BRA\_SP\_Sao.Carlos.837260\_TMYx**" (LABEEE, 2021) para as 8760 do ano com o primeiro dia do ano iniciando no domingo. No total foram analisadas 2072 horas que equivalem aos períodos de ocupação do edifício nos dias úteis da semana.

Para avaliar o impacto dos painéis solares na carga térmica de climatização são propostas duas situações de análise. Na primeira (caso 1), o edifício é avaliado sem o uso de painéis solares e foram obtidos dados das cargas térmicas dos ambientes, e dos consumos de energia elétrica de iluminação e equipamentos, em W e kWh ao ano.

Na segunda análise (caso 2), as áreas com painéis foram simuladas sem os efeitos da irradiação solar incidente, que foram consideradas insignificantes frente às demais fontes de calor e pelo bloqueio solar ocasionado pelos painéis. Nesse caso, foram obtidas as novas cargas térmica de climatização e a geração de energia fotovoltaica.

- **Forma de análise dos resultados.**

Os resultados são analisados nos máximos valores das carga térmicas de resfriamento (W), nas cargas térmicas acumuladas num período de um ano (kWh), nos consumos energéticos anual dos sistemas de iluminação, equipamentos elétricos e de climatização, e na geração elétrica anual do sistema fotovoltaico.

Para obtenção desses valores foi utilizado da classe **Output:Variable** do EnergyPlus com emprego dos objetos “**Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Rate**”, “**Lights Electric Power**”, “**Electric Equipment Electric Power**” e “**Electric Load Center Produced Electric Power**” para obtenção das cargas térmicas, potências elétricas de luzes e equipamentos e taxa de geração de energia fotovoltaica, respectivamente. A potência elétrica dos equipamentos de ar condicionado foram alcançadas dividindo a carga térmica hora a hora pela eficiência do climatizador.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A **tabela 3** proporciona estimativas por simulação das máximas cargas térmicas dos ambientes sem e com o uso de painéis solares, sendo os valores apresentados em watts. Nota-se dessa tabela, para os ambientes do pavimento térreo, que os resultados demonstram que uma maior atenuação da carga térmica ocorreu nas salas com área superior exposta ao ambiente exterior (SD01, 02, 06, 07 e 08) e atingindo máximo valor na sala SD06 (106,8W). Uma possível explicação para diminuição dessa carga térmica pode advir de uma menor transferência de calor repassado pela estrutura do primeiro para o pavimento térreo. Para o primeiro pavimento, a redução da carga térmica máxima em todas as salas foi de aproximadamente 32 W e com valores de amortecimento variando de 23,9 W até 38,3 W.

Ainda analisando esta tabela, observa-se que a maior carga térmica é de 2598 W que acontece na secretaria 01 (SEC01) devido a uma maior quantidade de pessoas e de equipamentos elétricos, quando comparada com as demais salas.

A **Figura 06** e **07** apresentam as cargas térmicas acumuladas durante o período de um ano nos casos sem e com painéis fotovoltaicos, respectivamente, para os ambientes do pavimento térreo e primeiro pavimento. Verifica-se que para o pavimento térreo, as reduções das cargas térmicas acumuladas são em média de 1%. Para as salas presentes no primeiro pavimento, a diminuição média é de 5% e são superiores às que ocorrem no pavimento térreo. Quando se avalia o prédio como um todo, o decréscimo médio da carga acumulada durante um ano é de 3,2%.

Nota-se, que estas reduções são justificadas pela presença dos painéis solares que barram a maior parcela da radiação solar sobre a cobertura. Entretanto, vale destacar, que devido às baixas absorptância ( $\alpha = 0,2$ ) e transmitância

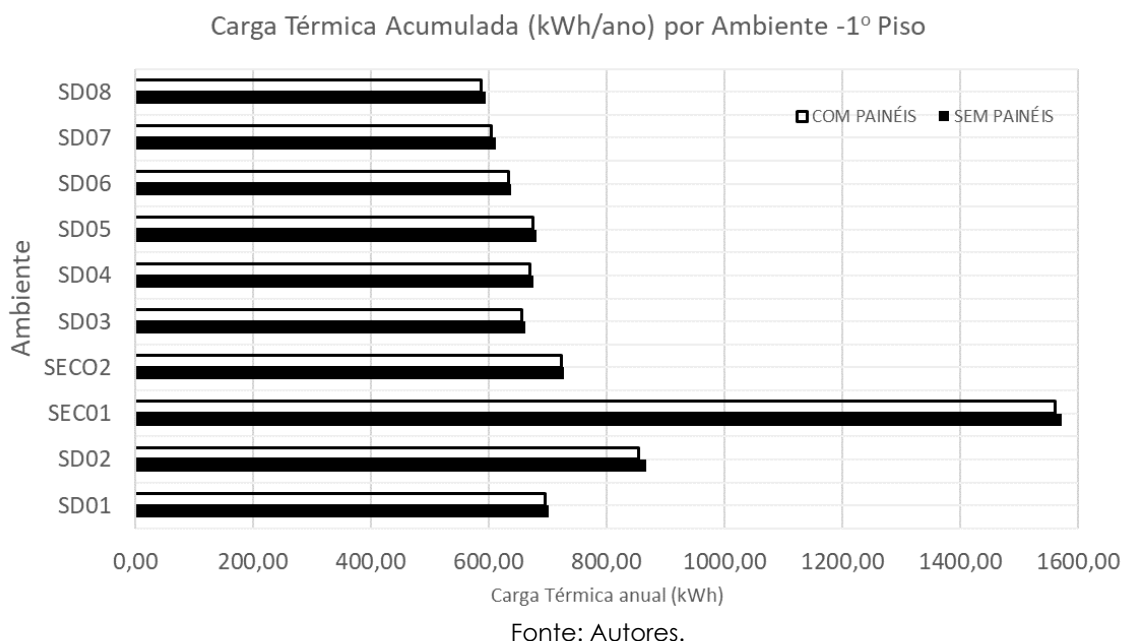
térmica ( $U = 1,17W/m^2K$ ) deste elemento, os valores obtidos são modestos.

**Tabela 3** – Identificação das principais zonas térmicas e suas máximas cargas térmicas totais (W) sem e com uso de painéis.

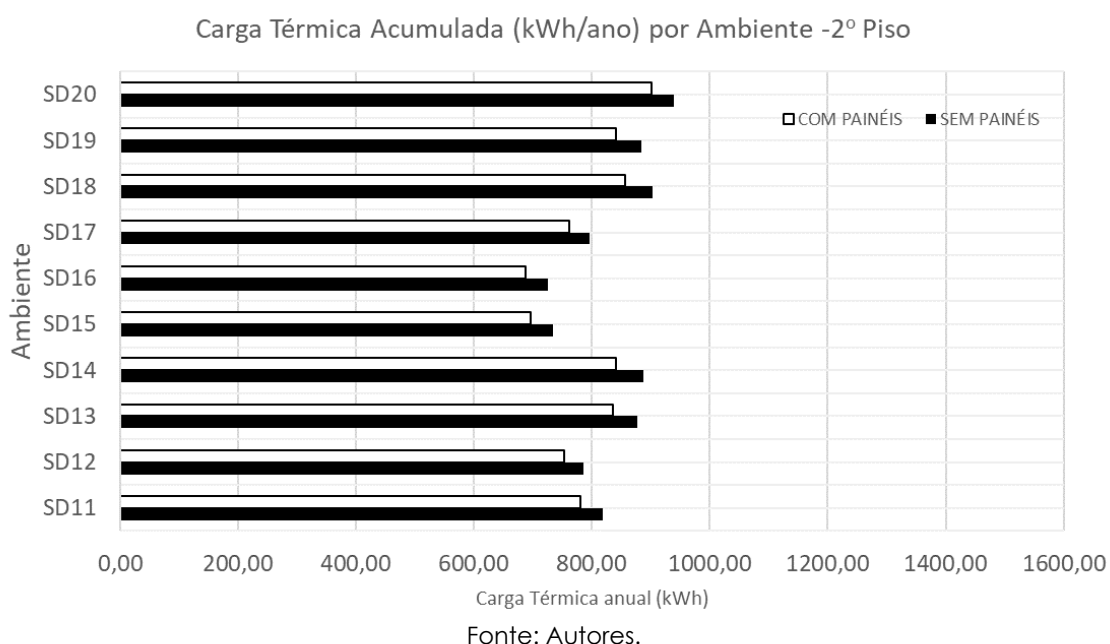
Pavimento	ID do Ambiente	Carga térmica Máxima (W)		Redução (W)
		Sem Painéis	Com Painéis	
Térreo	SD01	1325,5	1266,2	59,4
	SD02	1813,0	1665,7	147,3
	SECRETARIA 1	2598,4	2590,4	8,1
	SECRETARIA 2	1446,2	1441,2	4,9
	SD03	1228,1	1223,7	4,5
	SD04	1262,4	1256,7	5,8
	SD05	1316,4	1311,4	4,9
	SD06	1168,9	1062,1	106,8
	SD07	1067,8	980,8	87,0
	SD08	1057,7	974,7	83,0
1º	SD09	1372,0	1341,7	30,3
	SD10	1263,6	1234,6	29,0
	SD11	1408,1	1383,9	24,2
	SD12	1396,7	1372,8	23,9
	SD13	1379,8	1346,0	33,8
	SD14	1430,5	1394,8	35,7
	SD15	1353,6	1321,3	32,3
	SD16	1260,4	1231,7	28,8
	SD17	1582,2	1544,4	37,8
	SD18	1473,6	1437,0	36,6
	SD19	1397,8	1364,0	33,8
	SD20	1716,7	1678,4	38,3

Fonte: Autores.

**Figura 6** – Carga térmica acumulada (kWh/ano) para ambientes no pavimento térreo.



**Figura 7** – Carga térmica acumulada (kWh/ano) para ambientes no primeiro pavimento.



A **Tabela 4** expõe os gastos energéticos por tipo, por geração fotovoltaica e final durante um ano para os dois casos simulados. A **Figura 8** proporciona informações da produção e consumo de energia elétrica por mês para os sistemas fotovoltaicos, iluminação, equipamentos elétricos e ar condicionado para o caso 2. Como esperado, o consumo devido a iluminação e equipamentos elétricos são iguais em ambas as situações, pois não ocorreram mudanças nos tipos e no seu perfil de uso destes sistemas.

No caso 2, quando comparado com o caso 1, percebe-se uma redução no emprego do ar condicionado de 169 kWh com superávit na produção de energia elétrica, que permitiria sustentar outro edifício de mesmo porte, ver **Tabela 4**.

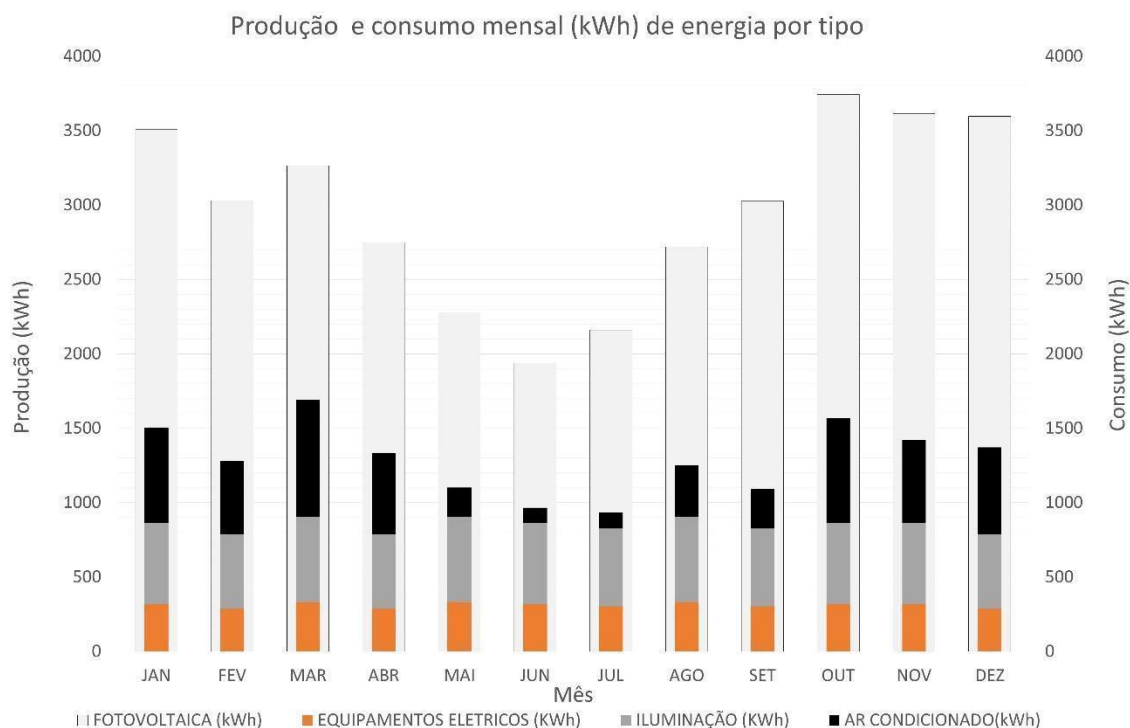
Avaliando-se o consumo mensal de energia devido a climatização (**Figura 8**), observa-se que nos meses de inverno e outono, com um clima ameno e frio, o uso de ar condicionado é reduzido, enquanto nos períodos de primavera e verão seu emprego é maior. Comportamento similar ocorre com a produção fotovoltaica, que é justificado pela variação da irradiação solar ao longo do ano.

**Tabela 4** – Consumo e geração de energia (kWh) anual, por tipo e final para os casos simulados.

Caso	Consumo (kWh/ano)			Geração (kWh/ano)	Final (kWh/no)
	Iluminação	Eq. Elétricos	Ar Condicionado	Fotovoltaico	
1º	3730	6195	5489	0	15414
2º	3730	6195	5320	35631	-20386

Fonte: Autores.

**Figura 8** – Produção e consumo mensal de energia por tipo (Fotovoltaico, iluminação, equipamentos elétricos e ar condicionado).



Fonte: Autores.

## 4 CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que, com a instalação de painéis fotovoltaicos na cobertura do edifício, ocorreu uma redução média de 3,2% na carga térmica anual dessa edificação como um todo. Esse resultado valida a proposta e comprova a eficiência da instalação desses painéis na redução da transferência de calor na superfície do prédio estudado.

No que se refere à geração e ao consumo de energia elétrica, o prédio adquire a capacidade de se auto sustentar e produzir um superávit anual de 20386 kWh, o que permite, em tese, sustentar, além dele próprio, outro edifício de mesmo porte.

Nota-se, também, a necessidade de aprofundar as pesquisas na área de aplicação de painéis fotovoltaicos para a diminuição da carga térmica, para que seja possível comparações de reduções térmicas com diferentes tipos e formatos de coberturas, além de estudos de melhora no conforto térmico dos ambientes.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao suporte da FAPESP, processo 2016/08645-9 e, aos departamentos de Engenharia Elétrica e Mecânica da UFSCar e Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP de São Carlos.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **Desempenho Térmico de Edificações**. NBR 15.220, [s.l.], 2005.

ACADEMIA DO SOL. **Fatores De Perda Em Sistemas Fotovoltaicos**. [s.l.]. Disponível em: <http://academiadosol.com.br/blog/fatores-de-perda-em-sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 23 abr. 2021.

ARA, Paulo José Schiavon. **Desempenho de sistemas de condicionamento de ar com utilização de energia solar em edifícios de escritórios**. São Paulo, 2010. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

ASHRAE. **Refrigeration Load**. SI edition. ed. New York: ASHRAE, 2006.

DALLABRIDA, Emanuel Cristiano; GONÇALVES, Cláudia Maria; PIOSEVAN, Tenile Rieger. Análise comparativa da eficiência energética em lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LED 1. **Seminário de Iniciação Científica – Engenharias**. 2015. Disponível em: <https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaokonhecimento/article/view/4990> Acesso em: abr.2021.

DIAS, Diogo Carlos Jorge. **Potencial técnico de aproveitamento da energia solar fotovoltaica em edifícios: Caso de estudo da cidade de Santarém**. 2020. Tese de Doutorado.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. Campinas, SP: [s.n.], 2008. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

GEORGI, Aurea Lúcia Vendramin. **Aquecimento solar de água: desempenho e racionalização de materiais e energia alternativa fundamental para o desenvolvimento sustentável**. Curitiba, 2015. Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE, 2015.

LABEEE. LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Arquivos Climáticos**. 2021. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>>. Acesso em: 25/jan./21.

MARANGONI, Filipe et al. Comparativo econômico entre condicionadores de ar com tecnologias convencional e inverter. **XXXV ENEGEP**, Fortaleza, 2015.

CONBRAVA 2021 – São Paulo Expo, 23 à 25 de novembro de 2021 - São Paulo, Brasil

MONTEIRO, Ana Catarina Cavaco. **Aplicação de painéis solares em edifícios públicos para autoconsumo fotovoltaico**. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2018. Dissertação de mestrado.

ZOMER, C.; RUTHER, R. **Simplified method for shading-loss analysis in BIPV systems – part 1: Theoretical study**. *Energy and Buildings*, [s.l.], v. 141, p. 69-82, 2017. ISSN: 03787788, DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.02.042.

Zhou, J.; Yi, Q.; Wang, Y.; Ye, Z. **Temperature distribution of photovoltaic module based on finite element simulation**. *Solar Energy*, v. 111, p. 97-103, 2015. ISSN 0038-092X, DOI: 10.1016/j.solener.2014.10.040.