

## ANÁLISE SIMPLIFICADA DO SOMBREAMENTO PROPORCIONADO POR COLETORES SOLARES PLANOS SOBRE O TELHADO NA REDUÇÃO DOS VALORES DA CARGA TÉRMICA NOS EDIFÍCIOS

**Renato G. Castanheira** – [rgcastanheira@uol.com.br](mailto:rgcastanheira@uol.com.br)

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – DAU/IT

**Oscar D. Corbella** – [ocorbella@terra.com.br](mailto:ocorbella@terra.com.br)

Universidade Federal do Rio de Janeiro - PROARQ-PROURB

### 6.2 Análise Térmica de Edificações

**Resumo.** *Freqüentemente são investidos recursos em elementos sombreadores nos edifícios tais como os beirais e os brises, com o objetivo de reduzir a carga térmica de resfriamento e conseqüentemente minimizar os gastos de energia nos sistemas de ar condicionado. Normalmente não se consideram outras superfícies aplicadas ao envelope dos edifícios entre as quais os coletores solares planos, que não têm por finalidade principal produzir sombras, pois são destinados ao aquecimento de água. O objetivo deste trabalho é investigar a influência que a sombra produzida por estes equipamentos tem sobre os valores da carga térmica de resfriamento, que define o dimensionamento dos sistemas de ar condicionado. Foram simulados no programa EnergyPlus os valores da carga térmica em um edifício fictício, submetido a uma carga térmica composta por ocupantes, dispositivos de iluminação, equipamentos elétricos e trocas de ar. As simulações realizadas consideraram o dia 21 de janeiro no Rio de Janeiro. O edifício estudado possui uma área envidraçada orientada para o oeste, protegida por um beiral horizontal e um banco de coletores solares planos instalados na cobertura, orientados para o norte e inclinados de 40°. Nas análises dos resultados foram comparados os valores da carga térmica, considerando os seguintes casos: edifício sem qualquer proteção, edifício somente com o beiral, edifício somente com o coletor e edifício com o coletor e o beiral. Os resultados obtidos para o caso estudado mostraram que, apesar da redução na carga térmica proveniente da sombra dos coletores ser aparentemente pequena, é maior do que a proveniente da sombra do beiral sobre a fachada e a janela, na qual foi realizado um investimento, permitindo concluir que, ao instalar os bancos de coletores, o projetista deve ser criterioso, de forma a aproveitar ao máximo o sombreamento proveniente destes equipamentos, pois é isento de custos.*

**Palavras-chave:** *Energia Solar, Eficiência Energética, Sombras, Proteções Solares.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os valores elevados para a radiação solar no Rio de Janeiro têm influência significativa nas condições de conforto no interior dos edifícios. A radiação solar incidente nas aberturas envidraçadas e no telhado constituem, em muitos casos, as maiores parcelas da carga térmica total em um edifício.

Nos edifícios, as fachadas e as aberturas envidraçadas são mais fáceis de serem protegidas da ação do Sol do que os telhados que, sem dúvida, representam as áreas mais vulneráveis à radiação solar, influenciando de forma decisiva os cálculos da carga térmica no dimensionamento dos sistemas de ar condicionado.

O objetivo deste trabalho é investigar a forma pela qual a sombra dos coletores solares pode contribuir na redução dos valores da radiação solar incidente na cobertura do edifício e conseqüentemente no valor da carga térmica.

A expectativa deste trabalho é contribuir para a economia de energia elétrica nos edifícios, utilizando, da forma mais racional possível, a sombra produzida pelos painéis destinados à captação de energia solar. Normalmente, o posicionamento destes equipamentos não considera o aproveitamento da sombra projetada sobre a cobertura do edifício, pois eles têm como função principal a captação de energia solar e não o sombreamento.

É importante ressaltar que a sombra destes equipamentos, se bem utilizada, pode contribuir, mesmo que de forma discreta, para a redução da quantidade de radiação solar que incide na cobertura do edifício, sem requerer qualquer tipo de investimento.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Parâmetros básicos para os procedimentos de simulação

As simulações foram realizadas para o Rio de Janeiro (23°S) e utilizaram um modelo simplificado de um edifício na forma de um paralelepípedo, conforme mostram as figuras 1 e 2.

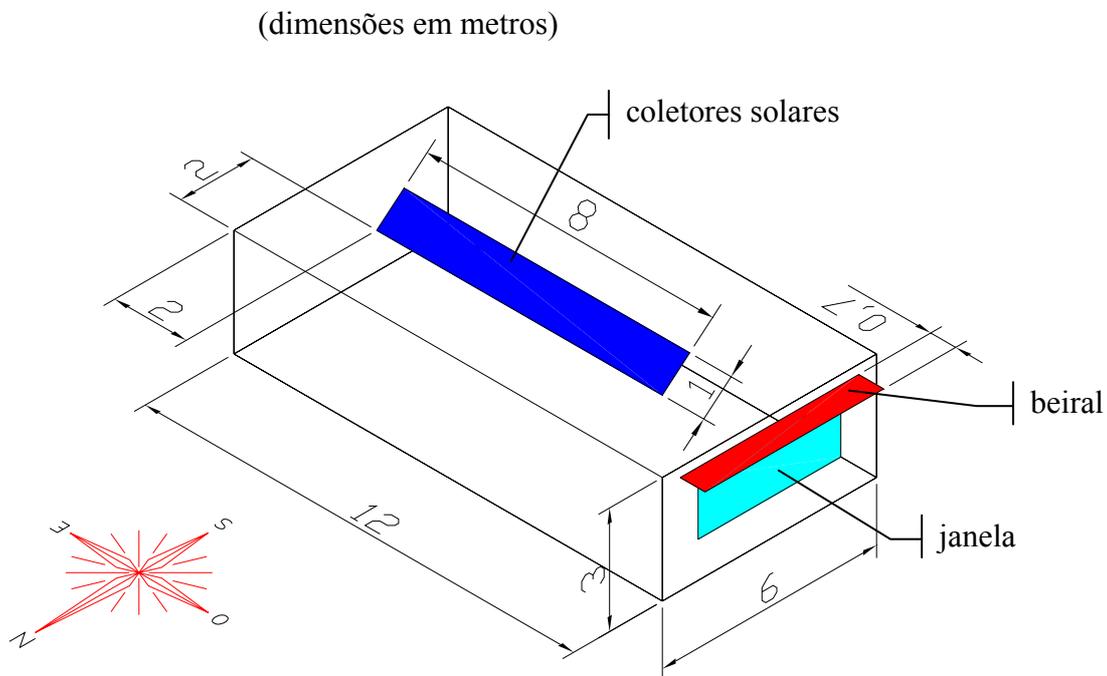


Figura 1- Modelo adotado (visão geral)

O modelo de edifício fictício utilizado nas simulações considera as paredes construídas com tijolos de barro com 8 furos quadrados (19 cm), revestidas em ambas as faces com argamassa de emboço (2,5 cm).

Com o objetivo de simplificar os estudos, a cobertura foi considerada horizontal e constituída por telhas de barro (1 cm), câmara de ar de fluxo vertical e uma laje mista (12 cm), enquanto o piso é constituído de concreto maciço (10 cm), revestido com piso cerâmico (1 cm).

O edifício possui uma janela de 6 m<sup>2</sup> situada na fachada oeste, construída com vidro claro com 6 mm de espessura. Com a finalidade de proteger a fachada e a janela da radiação solar incidente foi construído um beiral (brise horizontal) com uma área igual a 3,5 m<sup>2</sup> (figuras 1 e 2).

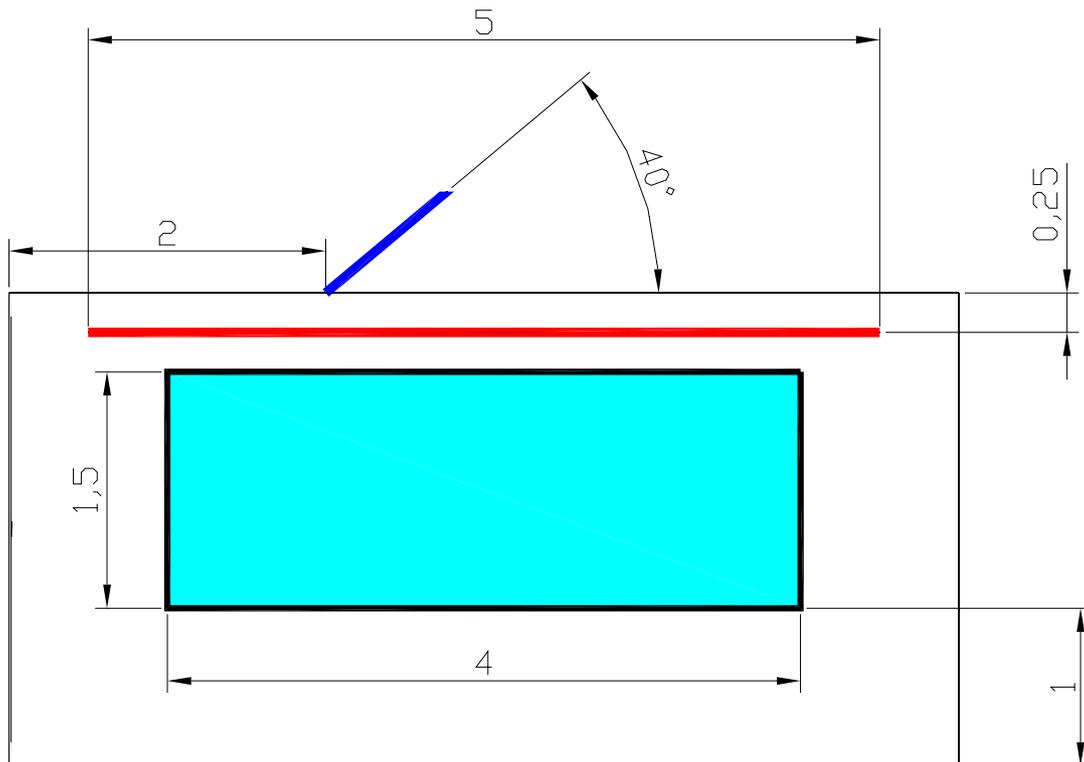


Figura 2- Modelo adotado (visão da fachada oeste)

Na cobertura foi montado um banco de coletores solares planos com 8 m<sup>2</sup>, destinado ao aquecimento de água e dimensionado de acordo o método *f-chart* (Duffie e Beckman, 1980), para uma demanda diária de 300 litros de água aquecida à temperatura de 60°C. Os cálculos foram realizados considerando o plano dos coletores orientado para o norte e inclinado de 40°, em relação à cobertura do edifício (figuras 1 e 2).

## 2.2 Simulações realizadas

Em uma primeira etapa, foram analisadas as sombras projetadas pelo beiral e pelo banco de coletores solares sobre a janela e a cobertura do edifício, respectivamente. Foram utilizados os programas *EnergyPlus* (Crawley et al. , 2001) e *Sombra2* (Castanheira e Costa, 2000). Os estudos realizados consideraram o dia 21/01 (Goulart; Lamberts e Firmino, 1997) e a hora local padrão (LST). Para as análises envolvendo a cobertura foi considerado um período útil compreendido entre 8:00 e 16:00, enquanto, para a fachada, o período útil considerado foi das 12:01 às 16:00. Para facilitar as análises, os efeitos sombreadores do beiral e dos coletores solares foram representados de forma numérica através de uma *área sombreada média*, considerando os períodos mencionados anteriormente.

Em uma segunda etapa foram simulados no programa *EnergyPlus* os valores da radiação solar global incidente sobre a cobertura e a fachada. Com o objetivo de representar de forma numérica os efeitos redutores produzidos pelas superfícies dos coletores solares e do beiral (superfícies protetoras) sobre a radiação solar incidente, foi calculado o valor da diferença média entre a quantidade de radiação que incidiria nestas superfícies (cobertura e fachada) sem a presença das superfícies protetoras e a quantidade de radiação solar incidente considerando a presença destas superfícies. Para estes estudos foi considerado o período compreendido entre 8:00 e 16:00.

Em uma terceira etapa, foram simulados, no programa *EnergyPlus*, os valores da carga térmica de resfriamento no edifício. Os estudos consideraram um aparelho de ar condicionado do tipo janela com *Setpoint* ajustado para 24°C.

A carga térmica fictícia considerada é composta por 6 pessoas ocupando o interior do edifício e exercendo uma atividade física moderada, 2160 W em equipamentos, 720 W em iluminação e 1,5 trocas de ar por hora. As simulações consideraram as componentes da carga térmica atuando durante o período de 24 horas.

O edifício está situado em uma região urbana situada a 5 m acima do nível do mar e foram consideradas as seguintes condições: temperatura de bulbo seco (TBS) igual 33,6°C, umidade relativa do ar (UR) igual a 54% e ventos de aproximadamente 4 m/s, predominantes do sudeste.

Para efeito de comparação, os valores da carga térmica foram simulados considerando as seguintes situações para o edifício: *sem qualquer proteção* (sem coletor e sem beiral), *apenas o coletor solar* (com coletor e sem beiral), *apenas o beiral* (com beiral e sem coletor) e *as duas proteções atuando simultaneamente* (com coletor e com beiral).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentados e discutidos a seguir os resultados obtidos após a realização dos procedimentos mencionados anteriormente.

Utilizando os resultados obtidos através de simulações realizadas no programa *EnergyPlus* para as áreas ensolaradas na cobertura, na fachada e na janela foram elaboradas as curvas apresentadas na figura 3, que mostram a influência que as superfícies protetoras têm sobre os valores da área ensolarada, considerando as situações mencionadas anteriormente.

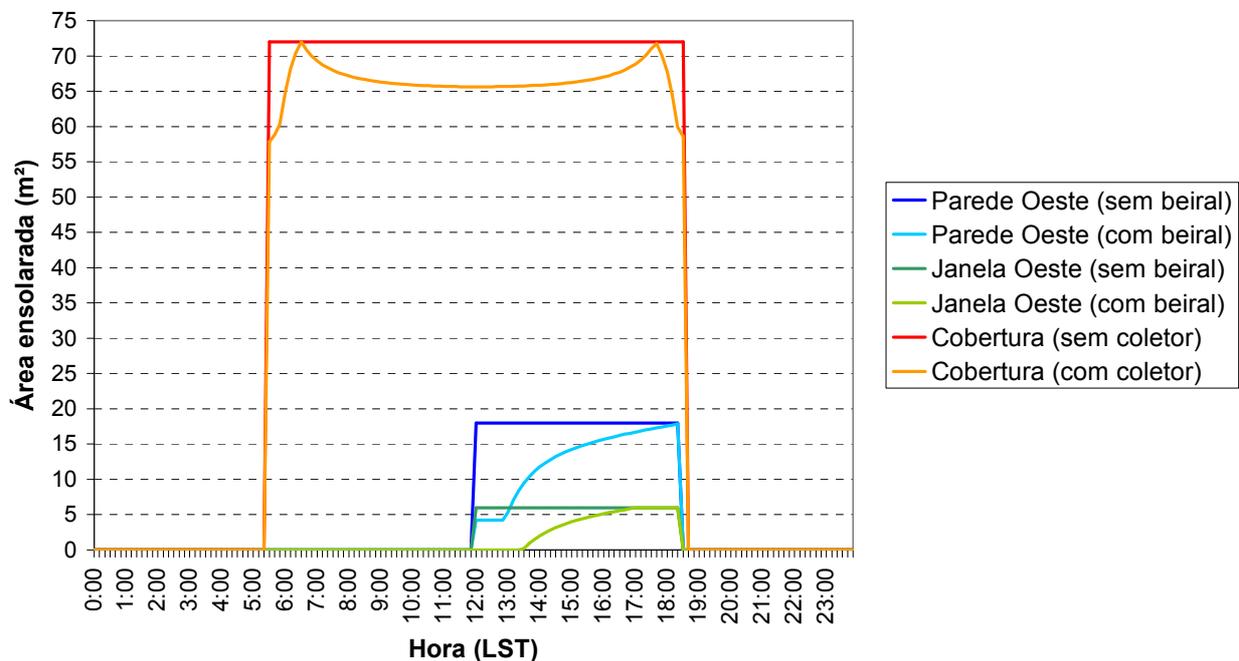


Figura 3- Influência das sombras do coletor e do beiral

A figura 3, obtida com a utilização do programa *Sombra2*, mostra a sombra projetada pelos coletores sobre a cobertura às 16:00.

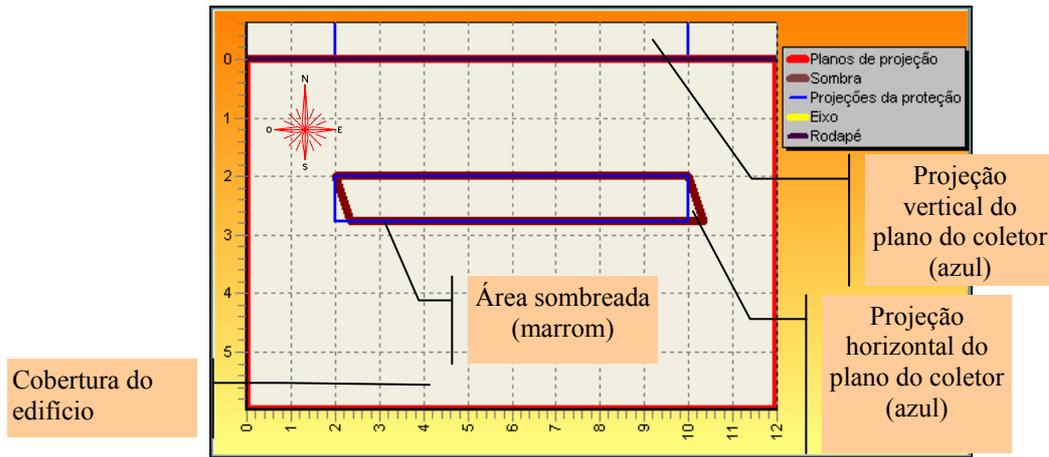


Figura 4- Posição da sombra projetada pelo coletor sobre a cobertura do edifício às 16:00.

A figura 4 mostra a sombra projetada pelo beiral sobre a fachada e a janela às 13:30.

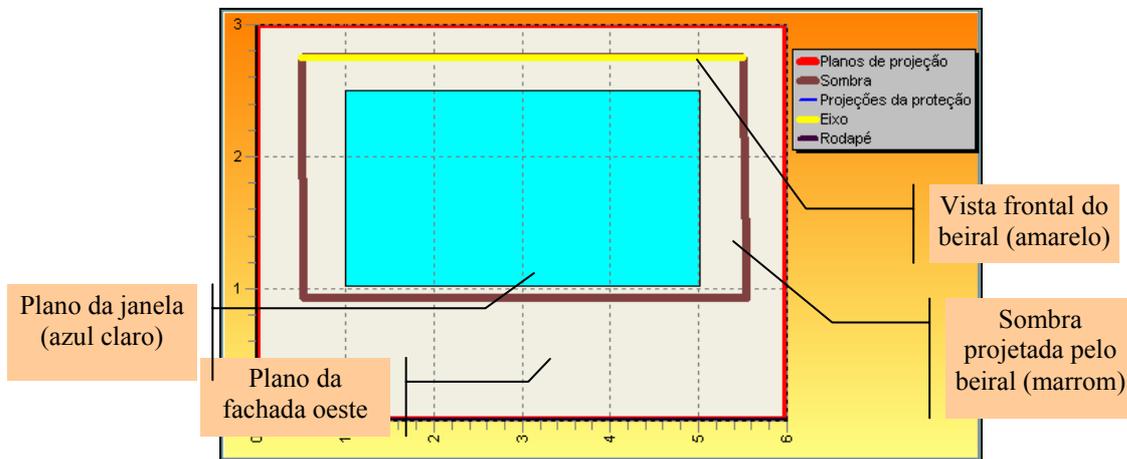


Figura 5- Posição da sombra projetada pelo beiral sobre a fachada e a janela às 13:30

As tabelas 1 e 2 mostram os valores para área sombreada média projetada pelas superfícies protetoras, ao longo do dia considerado no estudo.

Tabela 1. Valores obtidos para a área sombreada média na fachada

Hora padrão (LST)	Área Sombreada na fachada oeste (m <sup>2</sup> )
12:00	*****
13:00	13.8
14:00	9.8
15:00	8.0
16:00	7.6
<b>Área média (m<sup>2</sup>):</b>	<b>9.8</b>

Tabela 2. Valores obtidos para a área sombreada média na cobertura

<b>Hora padrão (LST)</b>	<b>Área sombreada na cobertura (m<sup>2</sup>)</b>
8:00	4.1
9:00	5.4
10:00	6.0
11:00	6.2
12:00	6.4
13:00	6.4
14:00	6.2
15:00	5.9
16:00	5.4
<b>Área média (m<sup>2</sup>):</b>	<b>5.8</b>

A tabela 3 mostra os valores para a redução absoluta da radiação solar incidente devido às superfícies protetoras.

Tabela 3. Valores para a redução da radiação solar incidente ao longo do dia

<b>Hora padrão (LST)</b>	<b>Fachada oeste</b>		<b>Cobertura</b>	
	<b>Sem beiral (Wh)</b>	<b>Com beiral (Wh)</b>	<b>Sem coletor (Wh)</b>	<b>Com coletor (Wh)</b>
8:00	1504.0	1431.9	28957.1	27103.8
9:00	2149.9	2065.0	48482.2	44733.9
10:00	2517.9	2424.6	63788.5	58409.0
11:00	2640.5	2558.5	74520.8	67988.1
12:00	2599.9	2532.2	80234.1	73087.8
13:00	5059.7	3414.4	80684.0	73500.2
14:00	9646.1	7513.4	75933.9	69282.2
15:00	13395.7	11503.1	66386.5	60796.5
16:00	16078.5	14131.6	52780.0	48709.6
<b>Total (kWh)</b>	<b>55.6</b>	<b>47.6</b>	<b>571.8</b>	<b>523.6</b>
	<b>Redução Absoluta (kWh):</b>	<b>8.0</b>	<b>Redução Absoluta (kWh):</b>	<b>48.2</b>

Os resultados apresentados na tabela 4 foram obtidos através das simulações realizadas no programa *EnergyPlus* para os valores da carga térmica de resfriamento.

Tabela 4. Valores obtidos para a carga térmica de resfriamento

Hora Padrão (LST)	Sem proteção	Coletor sem beiral	Beiral sem coletor	Coletor e beiral
	Des Cool Load [W]	Des Cool Load [W]	Des Cool Load [W]	Des Cool Load [W]
0:00	4794.4	4777.2	4763.8	4746.6
1:00	4390.7	4385.8	4368.0	4363.0
2:00	4046.8	4051.1	4030.3	4034.5
3:00	3753.4	3764.5	3741.8	3752.8
4:00	3506.8	3523.1	3499.1	3515.3
5:00	3304.5	3324.6	3300.0	3320.0
6:00	3150.4	3173.4	3148.2	3171.2
7:00	3060.5	3085.5	3059.8	3084.8
8:00	3103.4	3128.1	3102.9	3127.6
9:00	3396.0	3410.0	3395.3	3409.3
10:00	3962.8	3948.2	3961.6	3947.0
11:00	4724.3	4666.1	4722.8	4664.6
12:00	5569.5	5460.6	5568.2	5459.3
13:00	6421.4	6263.0	6384.9	6226.7
14:00	7292.5	7092.3	7098.6	6899.4
15:00	8070.6	7841.5	7766.7	7539.2
16:00	8639.3	8398.1	8338.6	8099.1
17:00	8911.0	8677.1	8673.9	8441.3
18:00	8800.1	8593.1	8643.1	8436.7
19:00	8165.8	7999.8	8052.3	7886.5
20:00	7252.5	7129.1	7166.0	7042.6
21:00	6499.8	6414.3	6432.1	6346.7
22:00	5841.6	5785.8	5789.0	5733.2
23:00	5274.1	5240.5	5233.7	5200.1
<b>Peak</b>	<b>8922.5</b>	<b>8695.5</b>	<b>8718.4</b>	<b>8496.5</b>
<b>Hora ( pico):</b>	<b>17:20</b>	<b>17:20</b>	<b>17:30</b>	<b>17:30</b>
<b>Redução (%):</b>	<b>0.0</b>	<b>2.5</b>	<b>2.3</b>	<b>4.8</b>

O gráfico apresentado na figura 6 representa os resultados mostrados na tabela 4.

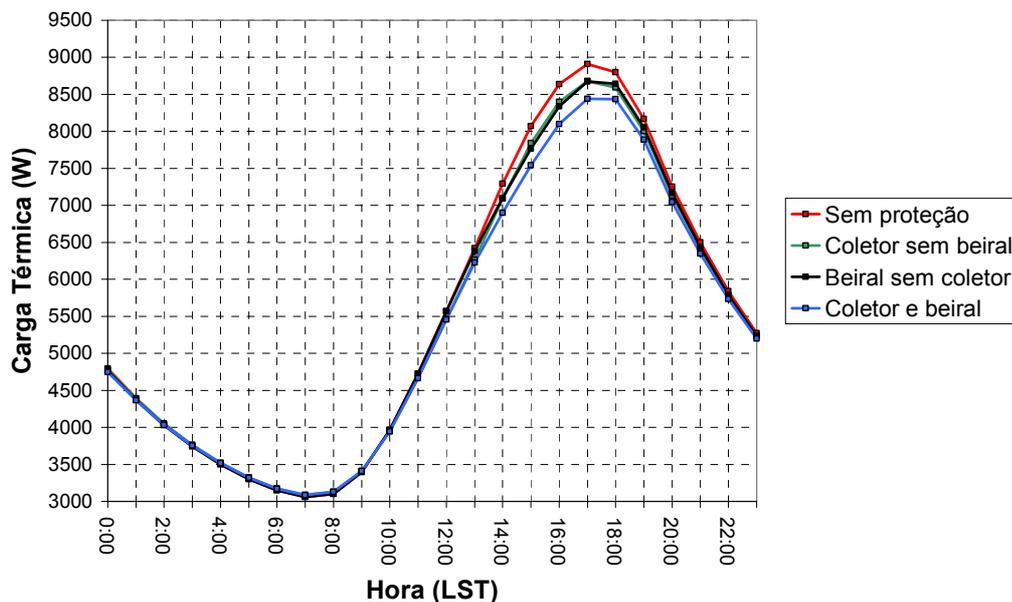


Figura 6- Influência das sombras do coletor e do beiral nos valores da carga térmica

Utilizando o programa *Sombra2* foi estudado o caminho percorrido pela sombra projetada pelos coletores sobre a cobertura durante o período compreendido entre 8:00 e 16:00 (figura 4), considerado crítico, e observou-se que a sombra projetada sempre esteve no interior do perímetro do polígono da cobertura, o que representa a melhor condição possível para a redução dos valores da radiação solar incidente (carga térmica).

Estudo semelhante também foi realizado para o percurso da sombra projetada pelo beiral sobre a fachada oeste e a janela. Observou-se que o beiral protege 100% da área da janela e cerca de 50% da área da fachada até cerca de 13:30. Poderia ter sido construído um beiral maior, mas isto poderia comprometer as condições de iluminação natural do ambiente interior.

Após o exame das tabelas 1, 2 e 3, observou-se que a sombra produzida pelos coletores solares pode ser considerada de maior *qualidade*. É interessante observar que a sombra média projetada pelo beiral sobre a fachada oeste tem uma área aproximadamente igual a 9,8 m<sup>2</sup> e proporciona uma redução absoluta na radiação solar incidente ao longo do dia do estudo em cerca de 8,0 kWh ( $\cong 0,8$  kWh/m<sup>2</sup>), enquanto a sombra média projetada pelos coletores tem uma área de aproximadamente 5,8 m<sup>2</sup> e proporciona uma redução nos valores da radiação solar incidente na cobertura de aproximadamente 48,2 kWh ( $\cong 8,3$  kWh/m<sup>2</sup>).

Os resultados obtidos anteriormente são interessantes, mas é importante ressaltar que a cobertura além de receber uma maior quantidade de radiação solar neste período do ano, tem uma área maior do que a fachada.

Ao analisar-se a tabela 4 e as curvas apresentadas na figura 6, observou-se que a carga térmica calculada de acordo com as condições descritas anteriormente atinge seu valor mais crítico no dia de projeto (21/01) aproximadamente às 17:20 para as seguintes condições: *sem proteção e coletor sem beiral*. Quando as simulações consideram as situações: *beiral sem coletor e coletor e beiral simultaneamente*, o pico de carga térmica se desloca para 17:30.

A tabela 4 mostra que a redução na carga térmica produzida pelo banco de coletores, apesar de ser pequena (2,5%), é superior a redução proveniente do beiral (2,3%) e, portanto, não deve ser desprezada. É importante ressaltar que foi realizado um investimento de recursos no beiral para proteger a fachada e a janela, enquanto os investimentos realizados nos coletores visaram apenas o aquecimento de água e não a produção de sombra.

Existem situações em que a sombra produzida pelos coletores solares tenderá a ser mais significativa na redução dos valores da carga térmica no edifício. Os seguintes casos podem ser citados:

- edifícios nos quais os ganhos internos são pequenos;
- edifícios com grandes áreas de captação de energia solar, tais como, escolas, hospitais, hangares e galpões;
- edifícios com vários pavimentos e sistema comunitário de aquecimento solar de água.

Neste tipo de estudo, não devem ser desprezadas as características geométricas envolvidas no processo, tais como a inclinação do telhado, a inclinação dos coletores e as condições de montagem do sistema sobre o telhado.

#### 4. CONCLUSÃO FINAL

Após o desenvolvimento de todo o processo de investigação, concluiu-se que os projetistas de sistemas destinados a captar energia solar, seja para aquecimento de água ou ar, seja para geração de energia elétrica, devem estar atentos ao fato de aproveitar a sombra projetada pelos painéis sobre a cobertura do edifício, através de um posicionamento correto na cobertura do edifício.

Deverá ser elaborado um estudo cuidadoso da movimentação da sombra e do posicionamento dos coletores, evitando que a mesma venha a se projetar fora do perímetro do polígono da cobertura durante o período crítico da incidência da radiação solar. Para isto estão disponíveis diversas ferramentas computacionais no mercado, entre elas podem ser citadas, o *SketchUp*, o *AutoCAD* (Render), o *3DStudio* (3DS) e o *Sombra2*.

## REFERÊNCIAS

- Castanheira, R.G.; Costa, C.E.S., 2003. Programa Computacional para o Estudo das Áreas Sombreadas por Proteções Retangulares em Planos Verticais e Horizontais. Anais do II Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, Curitiba, 5-7 Novembro.
- Crawley, D.B. et al., 1999. EnergyPlus, a New Generation Building Energy Simulation Program. Proceedings of International Building Performance Simulation Association, September 13-15, Kyoto.
- Duffie, J. A.; Beckman, W. A., 1980, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons.
- Goulart, S. V. G; Lamberts, R; Firmino, S., 1997, Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras, NPC/UFSC, Florianópolis, SC.

## SIMPLIFIED ANALYSIS OF SHADOWING PROVIDED BY PLANE SOLAR COLLECTORS ON THE ROOF FOR THE REDUCTION OF VALUES OF THERMAL LOAD IN THE BUILDINGS

**Abstract.** *Frequently, resources such as edges and brises are invested as shadowing elements in buildings with the objective of reducing the thermal load of cooling and, consequently, to minimize the expenses of energy in the systems of air conditioning. It is not usual to take into account other applied surfaces to the envelope of the buildings. Among the ones the plane solar collectors, that do not have for main purpose the production of shadows as they are destined to the heating of water. The objective of this work is to investigate the influence that the shadow produced by these equipments (the solar collectors) have on the values of the thermal load of cooling that defines the dimension of the systems of air conditioning. The program EnergyPlus simulated the values of the thermal load in a fictitious building, submitted to a thermal load composed by occupants, illumination devices, electric equipments and changes of air. The accomplished simulations considered January 21st in Rio de Janeiro. The studied building possesses a glazed area guided to the west protected by a horizontal edge and a bank of plane solar collectors installed in the covering, guided for the north and inclined 40°. In the analyses of the results the values of the thermal load were compared, considering the following cases: building without any protection, building with the edge only, building with the collector only and building with the collector and the edge. The results obtained for the studied case showed that, in spite of the reduction in the thermal load originated from the shadow of the collectors be apparently small, it is larger than the reduction originated from the shadow of the edge on the facade and the window, in the which an investment was made. The results allow us to the conclusion that, when installing the banks of collectors, the planner should be discerning in way as to take advantage to the maximum of the shadowing originating from these equipments, because that is exempted of costs.*

**KeyWords:** *Solar Energy, Energy Efficiency, Shadows, Solar Protections.*