PAINÉIS FOTOVOLTAICOS: SOMBRA E GERAÇÃO DE ENERGIA NOS TELHADOS

Renato G. Castanheira[1] – rgcastanheira@uol.com.br
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Oscar D. Corbella[2] – oscar.corbella@gmail.com
PROURB - FAU - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Resumo*: Com a finalidade de analisar a importância da geração de energia elétrica limpa, a partir da utilização de painéis fotovoltaicos, foram estimadas as reduções na carga térmica de resfriamento provenientes da sombra proporcionada pelos painéis sobre o telhado dos edifícios e pela parcela de energia solar convertida em elétrica. Os estudos foram elaborados tendo como base um modelo simples de edifício, localizado no Rio de Janeiro. Foram considerados dias representativos para o verão e o inverno e os cálculos foram realizados utilizando o programa simulador EnergyPlus. Os resultados obtidos mostraram a importância do sombreamento oriundo dos painéis nos telhados e ainda a viabilidade dos edifícios contribuírem com a matriz energética, desde que exista uma política específica por parte dos governos e das sociedades para tal.*

Palavras Chaves*: Energia Solar, carga térmica*

1. INTRODUÇÃO

Existem sistemas solares fotovoltaicos para produção de energia elétrica, calculados para fornecer a eletricidade necessária para cobrir as necessidades e converter a residência considerada em uma habitação de requerimento "zero" de energia ou "casa autônoma", mas também existem soluções específicas que visam fornecer energia elétrica para alguns poucos componentes da carga elétrica, reduzindo, desta forma, o investimento inicial necessário.

Mais recentemente está-se dando maior importância aos sistemas que cobrem toda a área da residência (geralmente todo o telhado), procurando trabalhar em consonância com a rede elétrica da distribuidora. Neste caso, geralmente a energia elétrica gerada é maior que as necessidades da residência e o excedente é vendido à distribuidora de eletricidade, que além de estabilizar a energia, garante o consumo nos períodos carentes de radiação eliminando uma série de problemas relativos ao espaço, a contaminação e o custo da acumulação de energia elétrica.

A proposta de se utilizar um sistema solar para geração de energia elétrica, ocupando toda a área disponível do telhado, além de propiciar um superávit de energia, relativo ao consumo no edifício, apresenta um efeito colateral importante para as condições de conforto e consumo de energia elétrica, que é o sombreamento produzido no telhado pelos painéis coletores. É importante ressaltar que este sombreamento tem uma influência significativa nos valores da carga térmica de resfriamento e uma consequente redução no consumo de energia elétrica nos sistemas de ar condicionado e ventilação, necessários para a manutenção das boas condições de conforto dos ocupantes.

É muito importante ressaltar que, diferentemente das condições encontradas nos paises desenvolvidos, nos paises da América Latina, o alto custo dos painéis coletores e o despreparo das distribuidoras de energia elétricas para adquirir e gerenciar o superávit energético nos edifícios inviabilizam, no presente momento, a inserção desta técnica na matriz energética. Porém, tão logo se estabeleça uma consciência política dos danos que os métodos de geração de energia elétrica convencionais causam ao meio ambiente e a sociedade e se estabeleça uma política, por parte dos governos e dos diversos setores da sociedade, de apoio às energias limpas, certamente a utilização da energia elétrica gerada nos telhados dos edifícios poderá representar uma parcela significativa na matriz energética dos paises, como já ocorre em alguns paises mais desenvolvidos.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é mostrar, através de um exemplo simples, que os painéis fotovoltaicos, além da geração de energia elétrica para o consumo no edifício, podem reduzir significativamente o consumo de energia elétrica nos sistemas de ar condicionado, devido ao sombreamento produzido no telhado, que em muitos casos, é responsável por grandes incrementos na carga térmica de resfriamento.

[1] Engenheiro Mecânico
[2] Pesquisador do CNPq

3. METODOLOGIA APLICADA

O método utilizado foi realizar simulações computacionais, empregando um modelo simples de residência, e suposições simplificadoras sobre a ocupação e cargas internas, observando diferentes cenários, considerando a influência das sombras dos painéis fotovoltaicos no consumo e na produção de energia elétrica. A seguir são apresentados os principais parâmetros utilizados no estudo.

3.1 Modelo utilizado

O modelo que representa o edifício simples utilizado nas simulações elaboradas, com as respectivas dimensões e orientação, é mostrado na Fig. 1.

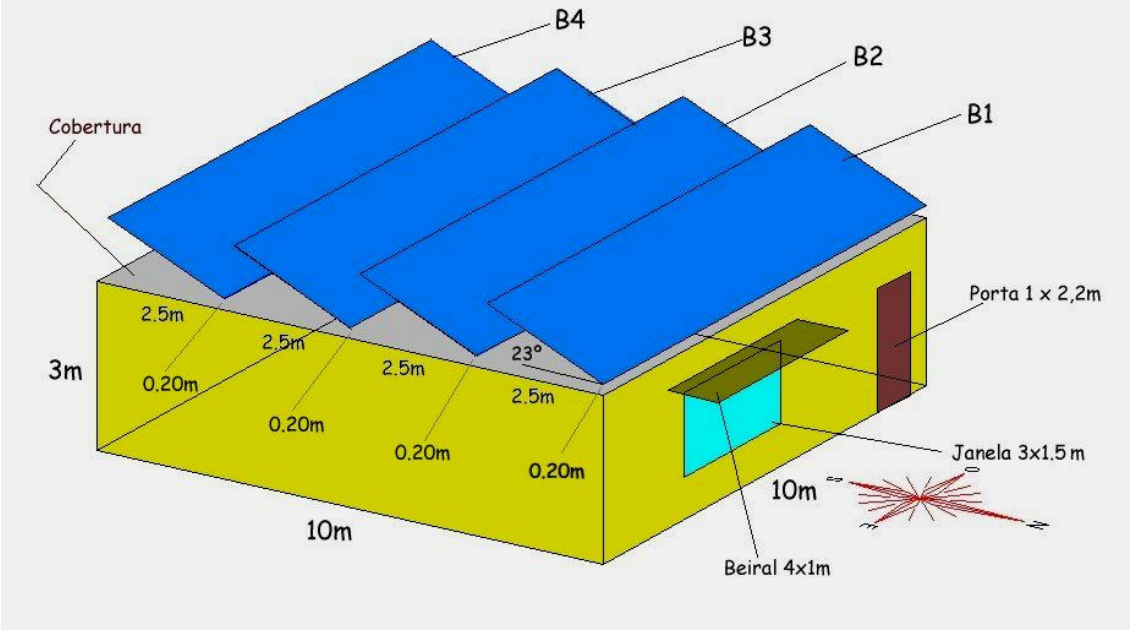

Figura 1- Edifício utilizado nas simulações

3.2 Materiais e construções utilizados

- **Paredes Externas**: paredes construídas com tijolos de 8 furos quadrados assentados em pé, revestidas internamente com 30 mm de argamassa de cor clara e externamente com 30 mm de argamassa de cor média.
- **Cobertura**: a cobertura é constituída de telhas de fibro-cimento com 7 mm de espessura (sujas), uma câmara de ar não ventilada, de alta emissividade e um forro de laje mista, com a face voltada para o ambiente interior, revestida com 30 mm de argamassa na cor clara. A inclinação da cobertura pode ser considerada desprezível (horizontal).
- **Piso**: o piso é constituído de uma camada de 100 mm de concreto maciço (contato com o solo), revestida com argamassa de assentamento (30 mm) e piso cerâmico escuro.
- **Porta**: é construída de madeira com 30 mm de espessura na cor escura.
- **Janelas**: a estrutura das janelas não será considerada nas simulações. As janela são consideradas como placas de vidro claro de 6 mm. Não são considerados quaisquer elementos sombreadores agregados à janela (cortinas, persianas).

3.3 Ocupação e atividade física

O número de ocupantes e a atividade física são apresentados na Tab. 1.

Tabela 1. Ocupação e atividade física

Período	0:00 – 6:59	7:00 – 11:59	12:00 – 13:59	14:00-17:59	18:00 – 21:59	22:00 – 23:59
Nº de pessoas	4	0	3	1	4	4
Atividade (W)	60	0	150	100	150	100

3.4 Iluminação

A iluminação artificial considera lâmpadas de baixo consumo, em um total de seis lâmpadas de 15W para toda a residência, combinadas com a iluminação natural. A distribuição da carga em iluminação artificial é apresentada na Tab. 2.

Tabela 2. Iluminação

Período	**0:00 – 5:59**	**6:00 – 6:59**	**7:00 – 16:59**	**17:00-17:59**	**18:00 – 21:59**	**22:00 – 23:59**
Carga (W)	0	60	0	60	90	30

3.5 Equipamentos elétricos e a gás

A distribuição da carga em equipamentos é apresentada na Tab. 3.

Tabela 3. Equipamentos elétricos e gás

Período (horas)	**0:00 5:59**	**6:00 6:59**	**7:00 11:59**	**12:00 12:59**	**13:00 13:59**	**14:00 16:59**	**17:00 17:59**	**18:00 18:59**	**19:00 19:59**	**20:00 21:59**	**22:00 23:59**
Carga (W)	140	300	140	700	140	440	500	830	1190	530	470

3.6 Ventilação prevista (trocas de ar)

Vazão prevista $\cong$ 0.03 m³/s.

3.7 Ar condicionado

Não deverá ser ultrapassado o setpoint de resfriamento igual a 26 ºC.

3.8 Local do estudo

O estudo foi elaborado para o Rio de Janeiro (22.83S e 43.25W). As condições climáticas para as quais foi submetido o modelo de residência foram os meses de fevereiro (extremo verão) e de junho (extremo inverno), procurando obter resultados com maior contraste. Para os dados climáticos foi utilizado o arquivo **Santos Dumont_SWERA.epw** (EERE, 2010), para o Rio de Janeiro.

3.9 Período efetivo para a captação de radiação solar

Foi considerado o período compreendido entre 7:00 e 17:00.

3.10 Painéis coletores

Estão distribuídos em 4 bancos, como mostra a Fig. 1, totalizando aproximadamente 100 m². Os painéis estão orientados para o norte e inclinados de 23º, condição para a máxima captação média anual para a latitude do Rio de Janeiro (Duffie e Beckman, 2000; Castanheira, 2001).

4. SOMBREAMENTO

4.1 Nos painéis coletores vizinhos

A análise da possibilidade de um banco de coletores sombrear o seu vizinho foi elaborada nos programas EnergyPlus (Crawley et al., 1999) e SketchUp. A Tab. 4 mostra as parcelas expostas à radiação solar direta nos painéis dos bancos B2, B3 e B4. No banco B1 não existem regiões sombreadas. As análises consideraram os dias médios de fevereiro (verão) e junho (inverno).

Tabela 4. Radiação solar direta incidente nos painéis

Hora	Verão – 16/02	Inverno – 11/06
	Fração ensolarada (%)	
07:00:00	100	27
08:00:00	100	63
09:00:00	100	70
10:00:00	100	73
11:00:00	100	75
12:00:00	100	75
13:00:00	100	75
14:00:00	100	74
15:00:00	100	72
16:00:00	100	67
17:00:00	100	58

4.1 No telhado

A Tab. 5 mostra as parcelas expostas à radiação solar direta no telhado.

Tabela 5. Radiação solar direta incidente no telhado

Hora	Verão – 16/02	Inverno – 11/06
	Fração ensolarada (%)	
07:00:00	66	32
08:00:00	27	23
09:00:00	15	12
10:00:00	8	8
11:00:00	4	5
12:00:00	2	3
13:00:00	2	4
14:00:00	4	6
15:00:00	8	9
16:00:00	14	15
17:00:00	26	39

As Figs. 2 e 3 mostram o sombreamento nos dias 16/02 às 10:00 (período de verão) e 11/06 às 8:00.

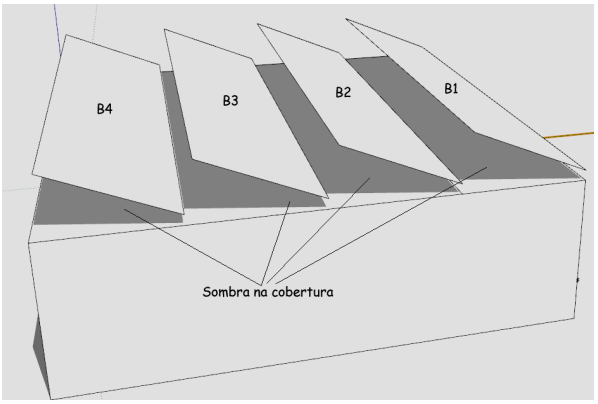

Figura 2- Sombras em 16/02 às 10:00

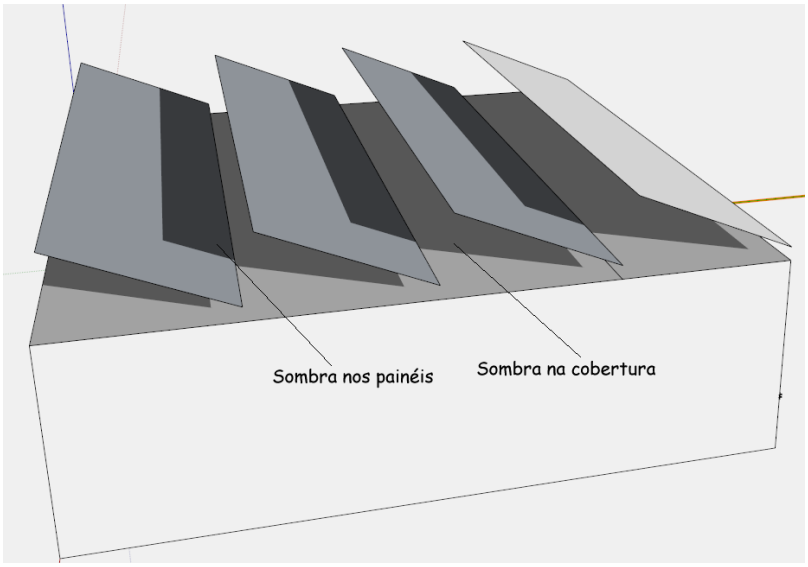

Figura 3- Sombras em 11/06 às 8:00

5. RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE NOS PAINÉIS COLETORES

Os resultados para a radiação solar incidente nos painéis foram obtidos no programa EnergyPlus, nos dias médios de fevereiro (máxima) e junho (mínima). As Tabs. 6 e 7 mostram os resultados obtidos para os dias 16/02 (verão) e 11/06 (inverno).

Tabela 6. Radiação solar total incidente em 16/02

Hora	**Radiação incidente no banco B1 (W/m²) (100% de radiação direta)**	**Radiação incidente no banco B2 (W/m²) (100% de radiação direta)**	**Radiação incidente no banco B3 (W/m²) (100% de radiação direta)**	**Radiação incidente no banco B4 (W/m²) (100% de radiação direta)**
07:00	94	94	94	94
08:00	316	316	316	316
09:00	559	559	559	559
10:00	760	760	760	760
11:00	885	885	885	885
12:00	913	913	913	913
13:00	836	836	836	836
14:00	638	638	638	638
15:00	439	439	439	439
16:00	347	347	347	347
17:00	225	225	225	225
Total (kWh/m²):	6.0	6.0	6.0	6.0
Total médio (kWh/m²)	**6.0**			

Tabela 7. Radiação solar total incidente em 11/06

Hora	Radiação incidente no banco B1 (W/m²) (100% de radiação direta)	Radiação incidente no banco B2 (W/m²) (Sombreamento)	Radiação incidente no banco B3 (W/m²) ((Sombreamento)	Radiação incidente no banco B4 (W/m²) (Sombreamento)
07:00	20	15	15	15
08:00	128	98	98	98
09:00	336	252	252	252
10:00	505	381	381	381
11:00	667	503	503	503
12:00	745	564	564	564
13:00	779	589	589	589
14:00	716	535	535	535
15:00	542	397	397	397
16:00	309	218	218	218
17:00	125	81	81	81
Total (kWh/m²):	4.9	3.6	3.6	3.6
Total médio (kWh/m²)	**4.0**			

6. TEMPERATURAS EXTERNA E INTERNA (SEM AR CONDICIONADO)

Para as estimativas dos valores da temperatura no interior do edifício, sem a utilização de ar condicionado, foram consideradas a sombra proporcionada pelos painéis no telhado, a parcela de energia solar convertida em energia elétrica e a carga térmica interna.

A Fig. 4 mostra a evolução das temperaturas externa e interna ao longo do dia 16/02.

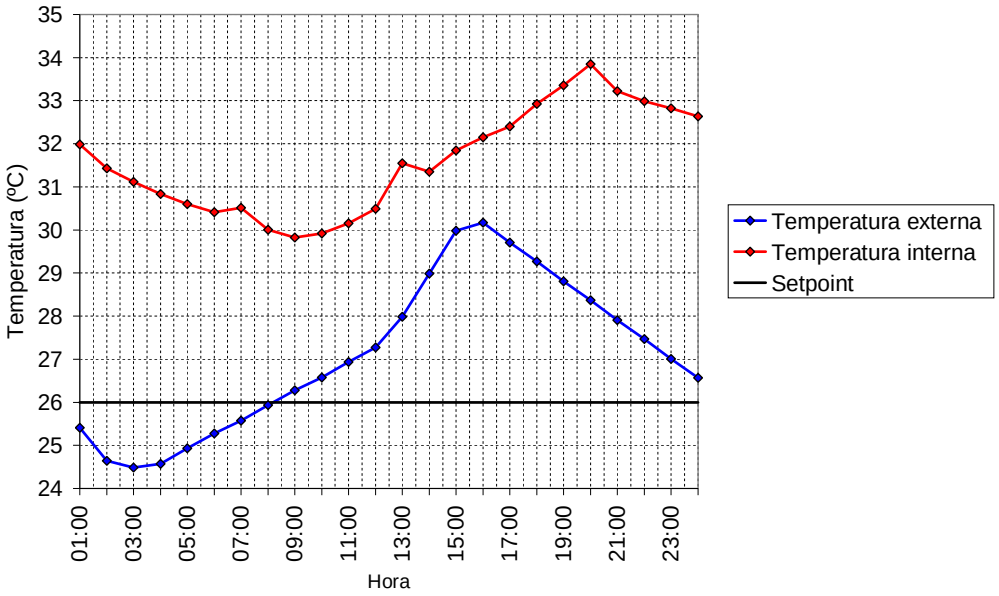

Figura 4- Temperaturas em 16/02

O ar condicionado deverá estar sempre ligado para que a temperatura não ultrapasse o setpoint (26ºC)

A Fig. 5 mostra a evolução das temperaturas externa e interna ao longo do dia 11/06.

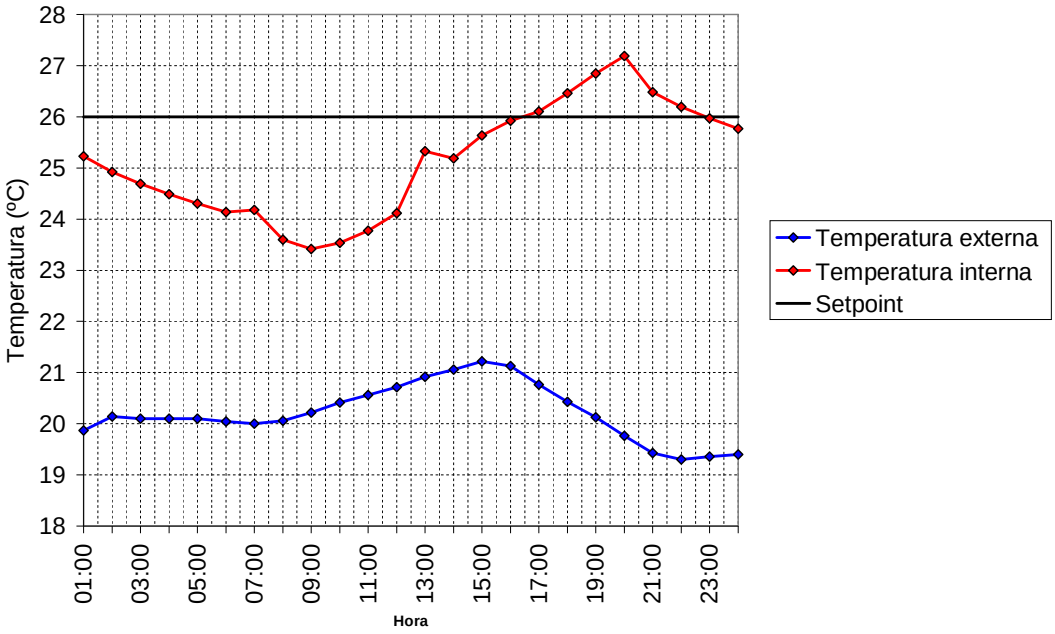

Figura 5- Temperaturas em 11/06

Observa-se, no período das 17:00 às 22:30, valores para a temperatura interna discretamente acima do setpoint do ar condicionado, o que não compromete as condições de conforto. Desta forma, a utilização de ar condicionado não será necessária no inverno.

7. OS PAINÉIS SOLARES E A CARGA TÉRMICA

Os estudos realizados consideram três situações distintas. Na primeira situação é estimada a carga térmica sem os painéis coletores (referência). Na segunda, será estimada a redução na carga térmica devido ao sombreamento causado pelos painéis no telhado (efeito colateral). Na terceira etapa será considerada a conversão de energia radiante em energia elétrica nos painéis (objetivo principal).

4.1 Resultados obtidos

A Tab. 8 mostra os resultados obtidos no programa EnergyPlus.

Tabela 8. Carga térmica em 16/02

Hora	Carga térmica (sem painéis) (W)	Carga térmica (sombra) (W)	Carga térmica (conversão) (W)	Redução na carga térmica desconsiderando a conversão de energia (somente a sombra) (%)	Redução na carga térmica considerando a conversão de energia (%)	Diferença entre os efeitos sombreador e conversor (%)
01:00	2306	1924	1909	17	17	1
02:00	2054	1732	1719	16	16	1
03:00	1853	1586	1573	14	15	1
04:00	1669	1451	1440	13	14	1
05:00	1500	1326	1316	12	12	1

Tabela 8. Carga térmica em 16/02 (continuação)

Hora	Carga térmica (sem painéis) (W)	Carga térmica (sombra) (W)	Carga térmica (conversão) (W)	Redução na carga térmica desconsiderando a conversão de energia (somente a sombra) (%)	Redução na carga térmica considerando a conversão de energia (%)	Diferença entre os efeitos sombreador e conversor (%)
06:00	1370	1236	1226	10	10	1
07:00	1314	1215	1206	8	8	1
08:00	1044	968	959	7	8	1
11:00	1417	1236	1224	13	14	1
12:00	1786	1489	1476	17	17	1
13:00	2557	2108	2094	18	18	1
14:00	2664	2049	2033	23	24	1
20:00	4064	3277	3257	19	20	1
21:00	3575	2881	2862	19	20	1
22:00	3368	2763	2745	18	19	1
23:00	3053	2529	2512	17	18	1
24:00	2793	2342	2327	16	17	1

A Fig. 6 mostra a evolução diária da carga térmica em 16/02.

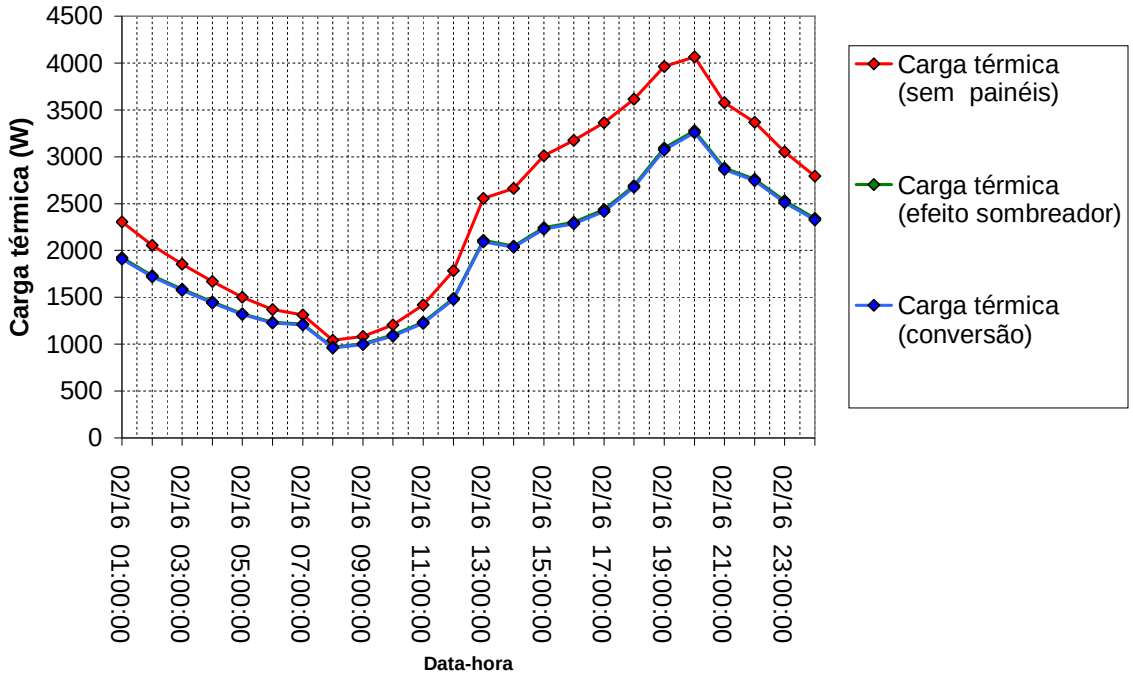

Figura 6 – Carga térmica em 16/02

Da Tab. 8 e do catálogo do fabricante do ar condicionado, tem-se as Tabs. 9 e 10.

Tabela 9. Dados do equipamento (fabricante)

Equipamento utilizado		
Modelo	**Capacidade Nominal (Btu/h)**	**Consumo) (refrigeração) (W)**
********	12000	1168
********	18000	1752

Tabela 9. Consumo de energia no ar condicionado

	Carga térmica (sem painéis) (W)	**Carga térmica (sombra) (W)**	**Carga térmica (conversão) (W)**
Potência mínima requerida (Tabela 8) (W)	4064 (20:00)	3277 (20:00)	3257 (20:00)
Potência mínima requerida (Btu/h)	13818	11143	11074
Redução (%)	*****	19	20
Potência nominal (Btu/h)	18000	12000	12000
Consumo mensal (kWh)	1265	850	850

8. DISCUSSÕES GERAIS

Os resultados obtidos permitem as seguintes análises:

8.1 Período de verão

- Sem os painéis solares (cobertura desprotegida):

Energia média mensal gerada: = 0 kWh
Consumo mensal sem ar condicionado: ≅ 256 kWh
Consumo mensal no ar condicionado: ≅ 1265 kWh (sempre ligado)
Energia mensal consumida: 256 kWh + 1265 kWh ≅ 1520 kWh
Déficit: ≅ -1520 kWh

- Com os painéis solares (somente sombra):
  Energia média mensal gerada: = 0 kWh
  Consumo mensal sem ar condicionado: ≅ 256 kWh
  Consumo mensal no ar condicionado: ≅ 850 kWh (sempre ligado)
  Energia mensal consumida: 256 kWh + 850 kWh ≅ 1110 kWh
  Déficit: ≅ -1110 kWh (redução ≅ 27%)

- Com os painéis solares (sombra + conversão):
  Energia média mensal gerada: = 1800 kWh
  Consumo mensal sem ar condicionado: ≅ 256 kWh
  Consumo mensal no ar condicionado: ≅ 850 kWh (sempre ligado)
  Energia mensal consumida: 256 kWh + 850 kWh ≅ 1110 kWh
  Superávit: ≅ +690 kWh

8.1 Período de inverno (sem ar condicionado)

- Sem os painéis solares (cobertura desprotegida):
  Energia média mensal gerada: = 0 kWh
  Consumo mensal sem ar condicionado: ≅ 256 kWh
  Energia mensal consumida: ≅ 256 kWh
  Déficit: ≅ -256 kWh

- Com os painéis solares (somente sombra):
  Energia média mensal gerada: = 0 kWh
  Consumo mensal sem ar condicionado: ≅ 256 kWh
  Energia mensal consumida: ≅ 256 kWh
  Déficit: ≅ -256 kWh

- Com os painéis solares (sombra + conversão):
  Energia média mensal gerada: = 1200 kWh
  Consumo mensal sem ar condicionado: ≅ 256 kWh
  Energia mensal consumida: ≅ 256 kWh
  Superávit: ≅ +944 kWh

9. CONCLUSÕES

Após a elaboração de todas as fases deste trabalho, foi possível concluir que:

- no verão, a sombra produzida pelos painéis reduz significativamente o valor da carga térmica de resfriamento e consequentemente o consumo de energia elétrica, desde que se utilize ar condicionado, aumentando a eficiência do sistema, oferecendo mais energia elétrica à rede distribuidora (Castanheira e Corbella, 2007);

- no inverno, quando não se utiliza ar condicionado, a energia produzida é ainda maior, porém, a sombra ainda pode ser um fator negativo, pois poderá, quando necessário, incrementar os gastos de energia em aquecimento.

10. EXPECTATIVAS

Considerando os problemas ambientais e energéticos em um futuro próximo, espera-se que:

- quanto ao custo elevado dos painéis, espera-se que com a evolução tecnólogica e uma utilização mais intensiva nos paises da América Latina, tornem-se equipamentos acessíveis, que certamente ao gerar uma forma limpa de energia contribuam para uma maior preservação do meio ambiente, evitando problemas de conforto e saúde (para todos os seres vivos);

- é necessário uma profunda reformulação, por parte dos governos, nas matrizes energéticas dos seus paises, adaptando-as à realidade atual e a necessidade de proporcionar às futuras gerações um mundo melhor.

11. REFERÊNCIAS

Castanheira, R. G., Corbella, O. D., 2007. Contribuiçao do Sombreamento proporcionado por Coletores Solares Planos Sobre o Telhado na Reduçao nos Valores da Carga Térmica nos Edifícios, I CBENS - I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza.

Castanheira, R.G. Radiação Solar Incidente em Planos Inclinados, Fachadas e Telhados no Rio de Janeiro. 2001. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – PROARQ, UFRJ, Rio de Janeiro.

Crawley et al., 1999. EnergyPlus, a New Generation Building Energy Simulation Program - IBPSA: International Building Performance Simulation Association, Kyoto.

Duffie, J. A., Beckman, W. A., 2002. Solar Engineering of Thermal Processes. New York: John Whiley & Sons,2000.

EERE - U.S. Departament of Energy – Energy Eficiency and Renewable Energy. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus>. Acesso em 10/04/2010.

Abstract. *In order to analyze the importance of clean electric power generation from the use of photovoltaic panels, it was estimated the reductions in the heat load of cooling from the shade provided by the panels on the roof of the buildings and the portion of solar energy converted into power. The studies were developed based on a simple model of the building, located in Rio de Janeiro. The calculations were realising in representative days for summer and winter and performed using the simulation program EnergyPlus. The results showed the importance of shading coming from the panels on roofs and even the viability of the contribution of buildings to the energy matrix, provided there should be a specific policy for governments and societies to do so.*

Keywords*:* Solar Energy, thermal cooling load