

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 10 kWp CONECTADO À REDE ELÉTRICA

Trajano de Souza Viana¹ – trajano@labeee.ufsc.br

Ricardo Rüter^{1,2} – ruther@mbox1.ufsc.br

¹LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

²LABSOLAR – Laboratório de Energia Solar

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

3.6 - Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

Resumo. *Sistemas fotovoltaicos integrados a edificações e conectados à rede elétrica pública de distribuição podem contribuir para o atendimento de diversos requisitos da rede, tais como diminuição de temperatura de operação de transformadores ou redução de picos de consumo diurnos, minimizando a necessidade de reforço da rede e, em alguns casos, podem produzir energia comparável ao consumo da edificação. Este trabalho descreve o sistema conectado à rede instalado no prédio do Centro de Cultura e Eventos, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis, e analisa a contribuição potencial do sistema para o consumo do prédio, cujo valor médio diário é de aproximadamente 473 kWh, obtido por medição durante o período de um mês. O sistema emprega módulos de filme fino flexível de silício amorfo (a-Si), de junção tripla, com potência total de 10,24 kWp. O painel fotovoltaico do sistema está instalado em parte da cobertura do prédio, orientado para o norte, ocupando uma área de 173 m², correspondente a 7,6% da área da cobertura. A energia gerada pelo sistema é injetada diretamente na rede e utilizada pelos equipamentos elétricos do prédio. A quantidade de energia gerada em dois anos de operação do sistema totaliza 27.950 kWh, o que permite estimar uma produtividade acima de 1.300 kWh/kWp por ano, ou geração média diária de 38 kWh, correspondente a 7,9% do consumo total da edificação. A contribuição de um sistema, que ocupe a área total da cobertura, é estimada para o período de um ano, utilizando o valor do consumo do prédio e a relação entre a área total e a área ocupada pelo sistema atual. Pode-se concluir que a geração de sistemas fotovoltaicos integrados é compatível com o consumo de uma edificação deste porte e padrão de uso.*

Palavras-chave: *Sistema fotovoltaico conectado à rede, Integração a edificação*

1. INTRODUÇÃO

A matriz de energia elétrica no Brasil apresenta capacidade instalada de 104,49 GW (ANEEL, 2006). A maior parte da geração do sistema elétrico é de origem hidráulica, a qual contribui com 73,34 GW, correspondentes a 70,12 % da capacidade instalada, enquanto outras fontes de energia renováveis, como biomassa e eólica, representam apenas 3,51% da matriz (ANEEL, 2006). O sistema elétrico brasileiro apresenta ainda a característica de geração predominantemente centralizada, com grandes extensões de linhas de transmissão (ANEEL, 2006).

A geração descentralizada de energia, com a utilização de sistemas fotovoltaicos em áreas urbanas, não é muito considerada em países em desenvolvimento (Beyer *et al*, 2001), não sendo ainda uma alternativa de geração muito utilizada no Brasil. Um dos fatores que contribui para esta situação é o custo comparativamente elevado com relação a outras formas de geração, embora estudos apontem a possibilidade de redução desses custos a níveis competitivos (Zwan e Rabl, 2004; NREL, 2004).

Sistemas fotovoltaicos integrados a edificações e conectados à rede elétrica pública de distribuição, constituem uma forma de geração descentralizada, que vem crescendo em todo o mundo (Rüther *et al.*, 2005), capaz de contribuir para o consumo da edificação, e proporcionar o atendimento de diversos requisitos da rede de distribuição, tais como redução de picos de consumo diurnos e diminuição de temperatura de operação de transformadores, minimizando a necessidade de reforço da rede (Bailey *et al.*, 1991; Hoff e Shugar, 1995).

2. METODOLOGIA

O Centro Cultura e Eventos (CCEven), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), é um prédio destinado à realização de congressos, formaturas e outros eventos. Localizado no campus da universidade, na cidade de Florianópolis, o CCEven possui os seguintes ambientes: um auditório com 1371 assentos; hall com 500 m² para exposições e feiras; quatro salas multifuncionais de paredes móveis, para palestras e cursos, com capacidade total para até 300 pessoas; salas para atividades artísticas; salas para serviços administrativos; lojas; livraria; restaurante; lanchonetes e banco. A área útil do prédio é de 8.000 m² e a cobertura é de 2.275 m².

Edificações do porte e padrão de uso do CCEven, normalmente apresentam elevado consumo anual de energia. A instalação de um sistema fotovoltaico, utilizando a área total de cobertura, pode produzir energia comparável ao consumo energético anual do prédio.

Em 16 de junho de 2004 foi colocado em operação um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica pública, instalado na cobertura do prédio do CCEven. O painel fotovoltaico do sistema, que ocupa 173 m² da área de cobertura, está alinhado com a fachada frontal, voltada para norte, e inclinado em 27°. A cobertura e o entorno não apresentam elementos que possam ocasionar sombreamento do painel fotovoltaico. O único elemento do entorno, com altura maior que o prédio, situa-se além da fachada sul. A fachada frontal do prédio e o painel são vistos na Fig. 1.



Figura 1 - Vista do painel do sistema fotovoltaico de 10 kWp instalado na cobertura do Centro Cultura e Eventos da UFSC

O sistema é composto, basicamente, por um painel com 80 módulos fotovoltaicos de filme fino flexível de silício amorfo (a-Si) (Uni-Solar, modelo PVL-128) e 9 inversores (Würth, modelos Solar Star 1200 e 1500). O sistema está dividido em 9 subsistemas caracterizados por diferentes configurações de potência instalada. Cada subsistema possui um medidor de energia que apresenta o valor acumulado de energia gerada desde a entrada em funcionamento e possibilita acompanhar periodicamente a geração do subsistema.

A energia gerada pelo sistema é injetada diretamente na rede elétrica e utilizada pelos equipamentos elétricos do prédio. A Fig. 2 mostra o diagrama unifilar do sistema, com as configurações dos subsistemas, inversores, medidores de energia de cada subsistema e a conexão às fases R, S e T da rede elétrica.

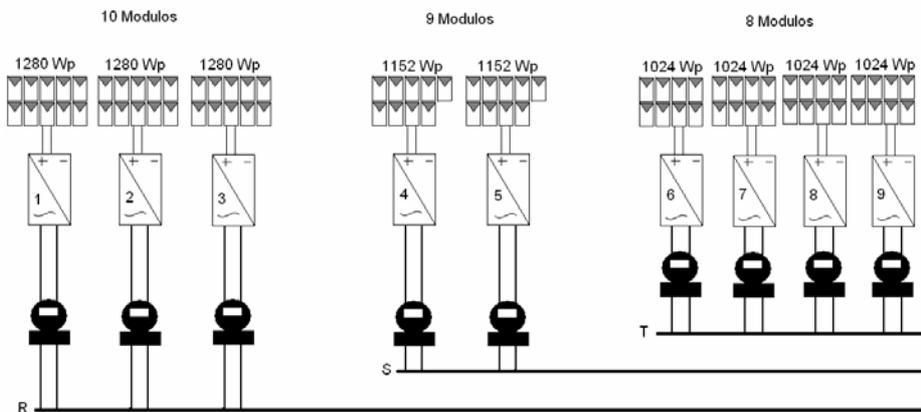


Figura 2 - Diagrama unifilar do sistema fotovoltaico

Este trabalho avalia o desempenho do sistema instalado e, com base no resultado desse desempenho, analisa a contribuição potencial da geração fotovoltaica para atender ao consumo de energia do prédio. A análise da contribuição potencial foi realizada considerando a instalação de um sistema dimensionado para ocupar toda a área de cobertura disponível, uma vez que o sistema atualmente em operação ocupa apenas 7,6% da área total.

A avaliação do desempenho do sistema levou em conta o consumo do prédio, medido por um medidor-registrador de potência (*Rustrak Ranger II Power Logger*) pelo período de 31 dias, com aquisição de dados a cada 15 minutos, e a quantidade de energia gerada pelo sistema, obtida nos medidores dos subsistemas.

A estimativa de geração mensal foi realizada com base nos valores de irradiação solar; área do painel; eficiência dos módulos e rendimento da conversão, de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Os valores estimados de geração mensal são comparados com os valores reais de geração mensal.

Os valores mensais de irradiação solar no plano do painel fotovoltaico, para a cidade de Florianópolis (27°S, 48°W), foram obtidos com auxílio do programa RADIASOL (disponível em www.solar.ufrgs.br/#softwares).

O RADIASOL recebeu valores de irradiação obtidos do banco de dados do projeto *SWERA* (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP, *United Nations Environment Programme* – <http://swera.unep.net/swera>).

3. DESEMPENHO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

3.1 Levantamento do consumo do prédio

O prédio não possui medidor de energia elétrica próprio. As unidades consumidoras, tais como lojas, lanchonetes, restaurante e livraria, possuem medidores individuais. Para realizar o levantamento do consumo foi instalado, no quadro geral de distribuição, um medidor-registrador de potência como mencionado na metodologia. Os dados de potência registrados a cada 15 minutos foram integrados para obter o valor médio de energia consumida por dia. O equipamento mediu o consumo do prédio excluindo o sistema de ar condicionado, que é alimentado por outro circuito específico.

A Fig. 3 mostra o medidor-registrador conectado, por meio de pontas de prova de tensão e de corrente, às três fases do quadro geral de distribuição.



Figura 3 - Medidor-registrador *Rustrak* instalado no quadro geral de distribuição do CCEven.

A partir dos dados registrados obteve-se o consumo de 14.671,7 kWh durante o período considerado, o que permite estimar um valor de consumo diário médio igual a 473,28 kWh e um consumo anual médio de 172.747,2 kWh.

3.2 Resultados do desempenho

O sistema gerou 13.585 kWh no primeiro ano e 14.365 kWh no segundo ano. O total gerado durante os 2 anos é de 27.950 kWh, o que permite estimar uma geração média mensal de 1.164,58kWh, correspondente a 7,9% do consumo médio mensal do prédio.

A produtividade de energia, de um sistema fotovoltaico conectado à rede, é a razão entre a energia produzida, em kWh, normalmente no período de um ano, e o valor da potência instalada, em kWp (Rüther e Dacoregio, 2000; NREL, 2005). O sistema apresentou, no primeiro ano de operação, uma produtividade de 1.327 kWh/kWp e, no segundo ano, de 1.403 kWh/kWp.

3.3. Estimativa de geração do sistema atual

A estimativa de geração foi realizada considerando a eficiência média dos módulos igual a 5,5% e a eficiência do inversor igual a 85%. O gráfico da Fig. 4 mostra a curva da geração mensal real do sistema, a curva da geração mensal estimada e os respectivos valores médios, para o primeiro ano de operação do sistema.

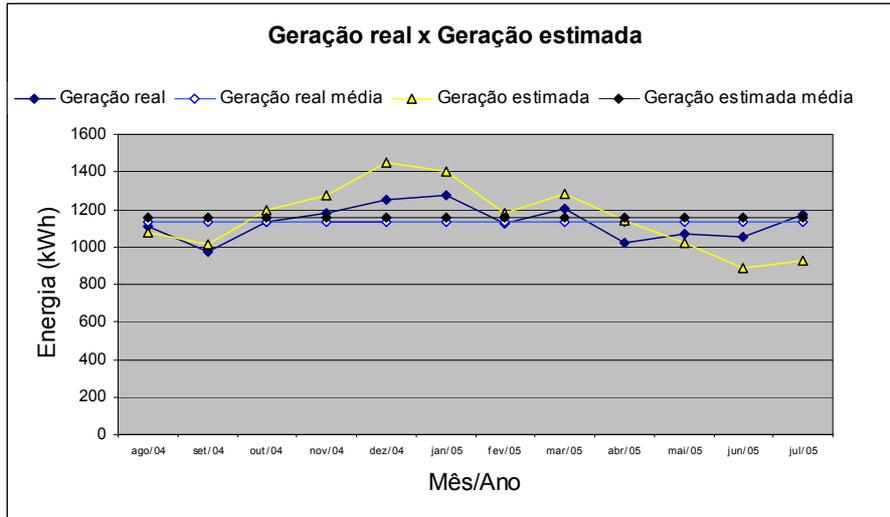


Figura 4 - Curvas de geração mensal, real e estimada, e respectivos valores médios.

Observa-se que as duas curvas apresentam tendência para um mesmo perfil, embora essa tendência não ocorra nos meses de maio, junho e julho. Apesar desta diferença de perfil das curvas, os valores médios da geração real, 1.132 kWh, e da geração estimada, 1.154,48 kWh, diferem de apenas 2 %.

3.3. Resultados estimados para o sistema em toda a cobertura

A Fig. 5 mostra a área total da cobertura do prédio e, em preto, a área ocupada atualmente pelo painel fotovoltaico. O sistema que ocupasse toda a área de cobertura disponível, teria potência equivalente à relação entre a área total, de 2.275 m², e a área atual, de 173 m². Isto resultaria numa potência instalada igual a 13 vezes a potência do sistema atual, ou seja, 133,12 kWp.

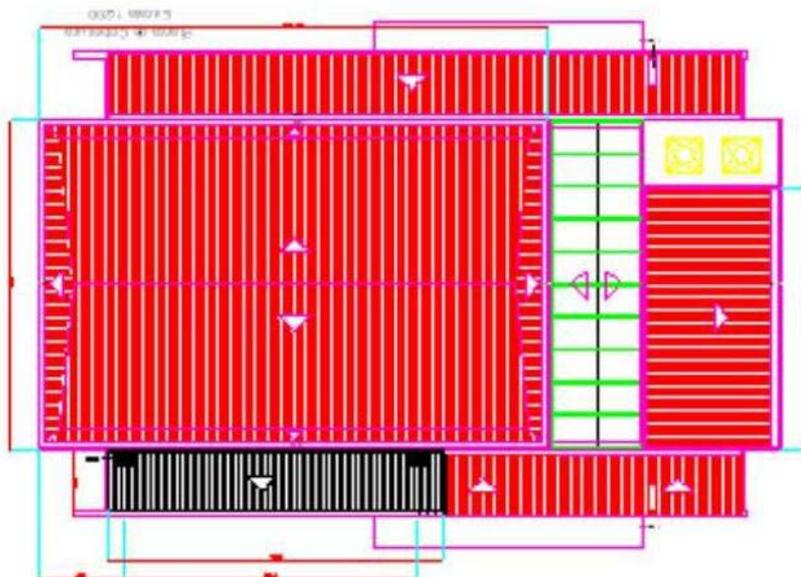


Figura 5 - Área de cobertura do prédio e área ocupada pelo painel fotovoltaico atual.

Um sistema com potência de 133,12 kW_p, corresponde a 1.040 módulos da mesma tecnologia e potência usada na configuração atual, que utiliza módulos de filme fino flexível de silício amorfo, de junção tripla, com potência de 128 W.

Utilizando-se o valor médio das produtividades de energia obtidas pelo sistema atual, em cada ano, e extrapolando para o sistema de 133,12 kW_p, verificou-se que este sistema poderia produzir 181.708,8 kWh por ano. Este valor de energia é superior ao consumo anual médio do prédio, estimado em 172.747,2 kWh. Deste modo, o sistema que ocupasse toda a área de cobertura disponível, teria um potencial de geração equivalente a 105 % da energia consumida pelo prédio, excetuando-se a carga devida ao ar condicionado. Para atender a esta carga adicional seria possível utilizar tecnologias fotovoltaicas mais eficientes e assim suprir a totalidade da demanda energética do prédio. O uso de módulos fotovoltaicos comercialmente disponíveis, com eficiência duas ou até três vezes maior do que a eficiência considerada neste trabalho, poderia gerar mais do que o total da energia consumida.

4. OUTROS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS NO CCEven

O Centro de Cultura e Eventos possui dois outros sistemas fotovoltaicos, instalados recentemente. São sistemas isolados, não conectados à rede elétrica, que possuem baterias para armazenar a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos.

4.1 Posto de Energia Solar Fotovoltaica

O Posto de Energia Solar Fotovoltaica destina-se a fornecer energia elétrica para carregar as baterias da motocicleta elétrica Mobilec, que será utilizada dentro do *campus*, devido ao fato de ser silenciosa e não emitir gases poluentes. O sistema do posto é constituído por um painel fotovoltaico, localizado na fachada norte do prédio do CCEven, um controlador de carga (Unitron, modelo LVD 12) e um banco de baterias.

O painel e a motocicleta, estacionada sob o mesmo, estão mostrados na Fig. 7. O painel, que possui configuração curva visando a integração arquitetônica com a fachada do prédio, pode ser visto também no lado direito da Fig. 1.



Figura 7 - Posto de Energia Solar e Mobilec

O painel é composto por 6 módulos de 64W, de filme fino flexível de silício amorfo, de junção tripla (Uni-Solar PVL-64) e o banco de baterias é constituído por 8 baterias de 12 V, cada uma com capacidade nominal de 220 Ah (Moura, modelo Clean). A energia gerada pelo painel é armazenada no banco de baterias e, quando necessário, é transferida para as baterias da motocicleta.

A motocicleta Mobilec possui um motor elétrico na roda traseira, alimentado por 2 baterias localizadas na parte central. O fabricante especifica uma velocidade máxima de 30 km/h e autonomia média de 40 km.

4.2 Sistema de iluminação de emergência

O sistema de iluminação de emergência é constituído por um painel fotovoltaico, um controlador de carga (Morningstar, modelo TriStar-60) e um banco de 5 baterias (Moura, modelo Clean, 220 Ah). O painel, mostrado na Fig. 7, está localizado verticalmente sobre a fachada norte, sendo composto por 6 módulos rígidos de 64 W (Uni-Solar, modelo US-64). Os módulos estão dispostos de forma alusiva à figura de um sol.



Figura 8 - Painel fotovoltaico do sistema de iluminação de emergência do CCEven.

A energia gerada pelo painel é armazenada no banco de baterias, ficando disponível para utilização pelo sistema de iluminação de emergência que atende às rampas de acesso e à entrada lateral do auditório.

5. CONCLUSÃO

O trabalho permitiu verificar que, em dois anos de operação, o atual sistema fotovoltaico integrado à edificação, com potência instalada de 10,24 kWp e ocupando 173 m² da cobertura, supre uma pequena parcela, 7,9%, do consumo médio da edificação. A produtividade do sistema apresentou valores, para cada ano, de 1.327 kWh/kWp e 1.403 kWh/kWp. A estimativa de geração do sistema atual mostrou diferença de cerca de 2% entre as médias de geração real e estimada.

A utilização de toda a área de cobertura disponível, de 2.275 m², permitiria instalar um grande sistema com potência 133,12 kWp. A estimativa do potencial de geração de energia deste sistema, mostrou que o mesmo poderia gerar um valor médio de 181.708,8 kWh por ano, correspondente a 105% do consumo anual médio do prédio, excetuando o consumo devido ao ar condicionado, o qual poderia também ser atendido com a utilização de outra tecnologia fotovoltaica de maior eficiência. Pode-se concluir que a geração de sistemas fotovoltaicos integrados à edificação é compatível com o consumo de um prédio deste porte e padrão de uso.

REFERÊNCIAS

ANEEL, 2006, Agência Nacional de Energia Elétrica, Banco de Informações de Geração, disponível *on-line* em <http://www.aneel.gov.br/15.htm>, acesso em outubro de 2006.

- Bailey, B. Doty, J. Perez, R. Stewart, R., 1991, Performance of a photovoltaic demand-side management system, Proceedings of 1991 ISES Solar World Congress, Denver, U. S. A., August 1991.
- Beyer, H. G. Rüther, R. Kreutzer, N., 2001, Estimation of the yield of building integrated a-Si PV-installations in Brazil based on long term performance data of a 2 kWp system, 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich, Germany, pp. 22-26, October 2001.
- Hof, T., Shugar, D. S., 1995, The value of grid-support photovoltaics in reducing distribution system losses, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 10, n. 3, pp. 569-576, September 1995.
- NREL, 2004, Study of Potential Cost Reductions Resulting from Super-Large-Scale manufacturing of PV Modules, National Renewable Energy Laboratory, disponível em www.nrel.gov
- NREL, 2005, Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems, National Renewable Energy Laboratory, disponível em www.nrel.gov
- Rüther, R. Reguse, W. Knob, P. *et al.*, 2005, Avalia  o do Impacto da Gera  o Distribu  da Utilizando Sistemas Solares Fotovoltaicos Integrados    Rede de Distribui  o, Estudos Tecnol  gicos em Engenharia, vol. 1, n. 1, disponível em www.estudostecnologicos.unisinos.br.
- Rüther, R., Dacoregio, M. M., 2000, Performance Assessment of a 2 kWp Grid-connected, Building-integrated, Amorphous Silicon Photovoltaic Installation in Brazil, Progress in Photovoltaics Research and Applications, vol. 8, pp. 257-286.
- Zwaan, B. Rabl, A., 2004, The learning potential of photovoltaics: implications for energy policy, Energy Policy, vol. 32, n. 13, pp. 1545-1554.

PERFORMANCE ANALYSIS OF A 10kWp GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Abstract. *Grid connected build integrated photovoltaic systems can contribute to achieve grid requirements such as transformers high operating temperature reduction or diurnal peak shavings deferring distribution lines upgrades and, in some cases, could produce an energy amount that matches building consumption. This paper describes the grid connected building integrated photovoltaic system (BIPV) installed in Centro de Cultura e Eventos ed  fice at Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), in Florianópolis, and analyses system potential contribution to building consumption, which has an average value of 473 kWh, surveyed during one month period. The system is built with triple junction amorphous silicon (a-Si) thin film modules, with 10,24 kWp.*

Key words: *Grid connected PV system, Building integration.*