

CENTRO DE EVENTOS DA UFSC: INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS FOTVOLTAICOS À ARQUITETURA

**Trajano de Souza Viana (1); Clarissa Debiazi Zomer (1); Lucas Nascimento (2);
Ricardo Rütther (1, 2)**

(1) LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

(2) LABSOLAR - Laboratório de Energia Solar

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Caixa Postal 476, 88040-900 Florianópolis, SC
e-mail: trajano@labeee.ufsc.br

RESUMO

A crescente demanda energética mundial e brasileira incentiva a busca por novas alternativas para geração de energia elétrica. Uma tecnologia promissora para o Brasil é a geração solar fotovoltaica. Os sistemas fotovoltaicos podem ser integrados às edificações, não ocupando área extra. Esses sistemas utilizam uma fonte renovável, silenciosa e limpa e não apresentam perdas por transmissão e distribuição, pois a geração ocorre junto ao ponto de consumo. Este trabalho descreve três sistemas fotovoltaicos integrados à arquitetura do prédio do Centro de Eventos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis. O primeiro sistema é conectado à rede elétrica pública e tem uma potência de 10 kWp. O painel fotovoltaico, instalado na cobertura, possui área de 173 m² e ocupa apenas 7,6% da área disponível da cobertura. A energia gerada por este sistema é injetada diretamente na rede elétrica do prédio e é equivalente a cerca de 7% do consumo da edificação, excetuando o consumo do ar condicionado. Esta instalação, ao longo de dois anos de operação, apresentou uma geração diária média de 38 kWh, e constitui uma forma de geração local de energia, a partir de fonte renovável, que recebe pontos no caso de esquemas de certificação verde como o *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)*. O segundo sistema é um Posto de Energia Solar, destinado a gerar e armazenar energia num banco de baterias para recarregar a bateria da motocicleta elétrica *MOBILEC*, que se encontra em teste no *campus* da UFSC. O terceiro sistema, com painel integrado verticalmente na fachada norte do prédio, é destinado a gerar e armazenar energia para alimentar o circuito de iluminação de emergência das rampas de acesso ao auditório. Os três sistemas são exemplos de aplicação da tecnologia fotovoltaica de forma harmoniosamente integrada à arquitetura original do prédio.

ABSTRACT

The increasing worldwide and Brazilian energy demand stimulates the search for new electric energy generation alternatives. Photovoltaic solar generation is a promising technology for Brazil. Photovoltaic systems can be integrated into the building structure and do not require an extra area. These systems use a quiet and clean renewable energy source and do not present transmission and distribution losses because generation occurs next to the consumption point. This work describes three building integrated photovoltaic systems (BIPV) installed at Centro de Eventos building at Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), in Florianópolis. The first system is grid-connected (i.e. connected to the public power line) and has 10kWp of PV power. The photovoltaic panel is

installed on the roof facing north and has 173 m² that occupies only 7.6% of the available roof area. The energy generated by this system is directly injected into building power line and is equivalent to about 7% of building consumption, excepting the air conditioning system. This installation presented an average daily generation of 38kWh assessed during a two years period of operation, and is a kind of on-site energy generation, using renewable source, that receives credits in a green building certification process such as LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). The second system is a Solar Energy Station, intended to generate and store energy in a battery bank to recharge the battery of one electric moped (Mobilec), which is in test at UFSC campus. The third system has a PV panel vertically integrated over the north building façade and is intended to generate and store energy to feed an emergency lighting circuit. These three systems are examples of fotovoltaic technology application, harmonically integrated to the original building architecture.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica é crescente no mundo, situação que também ocorre no Brasil. Para atender ao aumento de consumo brasileiro, a capacidade de geração cresceu em média 4,8% ao ano, no período de 2000 a 2005 (MME, 2006).

A matriz elétrica brasileira apresenta, em 2006, uma potência de 73,7GW de geração hidrelétrica, correspondente a cerca de 70% da capacidade instalada brasileira. Enquanto ocorre esta predominância de geração hidráulica, as fontes de energia renováveis alternativas, como biomassa, eólica e solar fotovoltaica, representam apenas 3,5% da matriz. A energia eólica possui potência instalada de 0,24GW e a energia solar fotovoltaica não apresenta números representativos, contando com uma potência instalada de 20kW, registrada pela Agência Nacional de Energia Elétrica, que representaria 0,019% do total (ANEEL, 2006). Este cenário de pouca participação de fontes alternativas de energia na matriz elétrica brasileira, especialmente da energia solar fotovoltaica, não encontra paralelo em países como Alemanha, Estados Unidos, Japão e Espanha, nos quais a potência fotovoltaica instalada assume valores da ordem de centenas de megawatt (MW) (PHOTON, 2006). O sistema elétrico brasileiro apresenta ainda a característica de geração predominantemente centralizada, com grandes extensões de linhas de transmissão (ANEEL, 2006).

Esta crescente demanda energética mundial e brasileira incentiva a busca por novas alternativas para geração de energia elétrica e a geração solar fotovoltaica é uma tecnologia promissora para o Brasil. As células fotovoltaicas transformam a energia solar diretamente em energia elétrica, sem emissão de gases, sem necessidade de partes móveis e silenciosamente, utilizando o sol que é uma fonte de energia limpa, renovável e virtualmente inesgotável. As células, devidamente interligadas e acondicionadas, formam os módulos fotovoltaicos, os quais são normalmente reunidos em painéis para constituir um sistema gerador fotovoltaico.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser instalados em locais distantes das áreas urbanas, atuando como centrais geradoras de energia elétrica, ou instalados em edificações, gerando energia de forma dispersa no ambiente urbano. Este último tipo constitui uma forma de geração descentralizada de energia, não muito considerada em países em desenvolvimento (BEYER *et al*, 2001), mas que pode se tornar uma alternativa de geração para o Brasil. Os sistemas fotovoltaicos integrados a edificações geram energia de forma silenciosa, sem emissão de gases poluentes, não apresentam perdas por transmissão e distribuição, pois a geração ocorre junto ao ponto de consumo, e não necessitam de área extra, uma vez que os módulos e painéis fotovoltaicos são utilizados como elementos de cobertura ou de fachadas.

Os módulos fotovoltaicos são projetados e fabricados para resistirem às características ambientais externas, sob sol, chuva, ventos e outros agentes climáticos, com expectativa de operação nestas condições por 30 anos ou mais sendo, portanto, adequados à integração ao envoltório de edificações (RÜTHER, 2004). Quando os módulos são integrados de maneira elegante e esteticamente agradável, geram bons exemplos de aplicação, que podem ser utilizados para convencer clientes, arquitetos e o público em geral, do papel positivo desta tecnologia, seja em termos de desempenho energético ou da disponibilidade de um elemento construtivo completo (PRASAD e SNOW, 2005).

O objetivo de um bom projeto não é mais simplesmente criar uma edificação que seja esteticamente agradável. Os edifícios do futuro devem atender a aspectos ambientais. A integração entre elementos

fotovoltaicos e arquitetura é o desafio para a nova geração de edifícios. Os sistemas FV serão uma unidade nos edifícios modernos, integrados nas coberturas ou nas fachadas (SICK e ERGE, 1996).

Em alguns países da Europa a geração integrada é uma realidade, havendo expectativa que no futuro quase todas as edificações tenham sistemas integrados, algumas gerando energia equivalente ao próprio consumo, e que os módulos fotovoltaicos estejam disponíveis numa grande variedade de elementos construtivos, sendo uma opção de material a ser empregado na edificação (PEREZAGUA, 2007). O principal fator que ainda restringe a ampla utilização de sistemas geradores solares fotovoltaicos é o custo comparativamente mais elevado com relação a outras formas de geração. No entanto, alguns estudos apontam a possibilidade de redução dos custos dos módulos para níveis que tornariam a geração fotovoltaica competitiva (ZWAAN e RABL, 2004; NREL, 2004).

Este trabalho descreve três sistemas fotovoltaicos integrados à arquitetura do prédio do Centro de Eventos, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em Florianópolis. O primeiro sistema é conectado à rede elétrica pública e os outros dois sistemas são isolados, sem conexão com a rede elétrica, contando com baterias para armazenar a energia gerada. O LABSOLAR e o LabEEE vêm desde 1997 demonstrando a viabilidade técnica e as vantagens da integração fotovoltaica ao entorno construído (RÜTHER, 1998; RÜTHER e DACOREGIO, 2000).

2. DESCRIÇÃO DOS PROJETOS

O Centro de Eventos, localizado no *campus* da UFSC, na cidade de Florianópolis, é destinado à realização de congressos, formaturas e outros eventos. A edificação possui diversos ambientes, dentre os quais destacam-se: 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; toaletes e lojas diversas (livraria, restaurante, lanchonetes, banco, agência de viagens, etc.). A área útil da edificação é de 8.000m² e área da cobertura disponível é de 2.275m².

O prédio do Centro de Eventos apresenta características adequadas para aplicação e divulgação da tecnologia fotovoltaica devido ao seu porte, localização no *campus* e diversidade de público que aflui para o mesmo diariamente.

2.1 Sistema Conectado à Rede

O primeiro sistema fotovoltaico instalado no Centro de Eventos da UFSC é conectado à rede elétrica pública e está situado na cobertura do prédio. O sistema é composto, basicamente, por um painel com 80 módulos fotovoltaicos flexíveis de 128W, de filme fino de silício amorfo (a-Si), junção tripla (*Uni-Solar*, modelo PVL-128), e 9 inversores (*Würth*, modelos Solar Star 1200 e 1500). A função dos inversores é converter a tensão contínua gerada pelos módulos, em tensão alternada, adequada à conexão com a rede elétrica. A potência instalada é de 10,24kWp. O sistema possui medidores de energia (quilowatt-hora, kWh) que apresentam o valor acumulado de energia gerada desde o início da operação, e possibilitam acompanhar periodicamente a geração.

Inicialmente foram realizados alguns estudos para determinar a melhor localização e integração do painel fotovoltaico do sistema à edificação. Um aspecto importante considerado na fase de estudos foi o do sombreamento que poderia ocorrer sobre o painel. Neste caso, 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.

O painel do sistema possui inclinação de 27°, correspondente à latitude local, e ocupa 173 m² da área de cobertura, estando alinhado com a fachada frontal que é voltada para norte. A inclinação de 27° e a orientação do plano do painel em direção ao norte visam maximizar o desempenho do sistema com relação à geração de energia ao longo do ano. Diferentes inclinações e orientações levam a desempenhos variados em função da variação da taxa de radiação solar, determinada principalmente pela trajetória aparente do Sol ao longo do ano. A Figura 1 mostra a fachada frontal do prédio do Centro de Eventos e o painel fotovoltaico instalado na cobertura.



Figura 1 - Vista da fachada do Centro de Eventos, com o painel do sistema fotovoltaico de 10,24kWp instalado na cobertura, com inclinação de 27°.

A área ocupada pelo painel do sistema, de 173 m², corresponde a apenas 7,6% da área total disponível na cobertura. A energia gerada pelo sistema é injetada diretamente na rede elétrica e utilizada pelos equipamentos elétricos do prédio. A alimentação elétrica do prédio está dividida em dois circuitos: um para o condicionamento de ar e outro para o restante do prédio. O consumo do prédio, excetuando o consumo do ar condicionado, permitiu estimar um valor de consumo diário médio igual a 473,28 kWh e um consumo anual médio de 172.747,2 kWh. Os medidores do sistema registraram uma geração total de 13.585 kWh no primeiro ano de operação 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 estimado para o prédio. (VIANA e RÜTHER, 2007).

Com bases nos valores de consumo e de geração apresentados, considerou-se a possibilidade de instalar um sistema que ocupasse toda a área de cobertura, visando uma geração maior, uma vez que o sistema atual ocupa apenas 7,6% da área disponível e fornece energia correspondente a 7,9% do consumo. Um sistema que ocupasse toda a área de cobertura disponível teria potência equivalente à relação existente entre a área total e a atual. Assim, a potência do novo sistema seria 13 vezes a do sistema atual, resultando em 133,12kWp, que corresponderia a 1.040 módulos da mesma tecnologia, eficiência¹ e potência dos módulos utilizados na configuração atual. A geração potencial deste novo sistema, tendo como base os valores de geração atuais e extrapolando para a potência de 133,12 kWp, seria de 181.708,8 kWh por ano. Este valor de energia é superior ao consumo anual médio do prédio, estimado em 172.747,2 kWh (VIANA e RÜTHER, 2007). Isto significa que um sistema fotovoltaico ocupando toda a área de cobertura disponível, teria um potencial de geração capaz de suprir a energia consumida pelo prédio, excetuando a carga devida ao ar condicionado.

A Figura 2 mostra dois estudos, (a) e (b), de disposição de painéis fotovoltaicos, representados em cor escura, sobre a cobertura. O primeiro estudo (a), retrata a situação atual, com o painel de 10,24kWp instalado (conforme visto anteriormente na Figura 1). No segundo estudo (b), estão mostrados os módulos dispostos em vários painéis, ocupando praticamente toda a cobertura, com a potência instalada de 133,12kWp.

A carga do sistema de condicionamento de ar poderia ser atendida com a utilização de uma outra tecnologia fotovoltaica comercialmente disponível, de maior eficiência, capaz de produzir mais energia elétrica por unidade de área, e assim suprir a totalidade da demanda energética do prédio. O uso de módulos fotovoltaicos com eficiência duas vezes ou quase três vezes maior do que a eficiência dos módulos atualmente instalados, poderia gerar mais energia do que o total consumido por todos os aparelhos da edificação.

¹ Eficiência de um módulo FV – representa a eficiência na conversão da energia solar recebida pelo módulo em energia elétrica, para valores preestabelecidos de temperatura e especificada na forma de porcentagem.

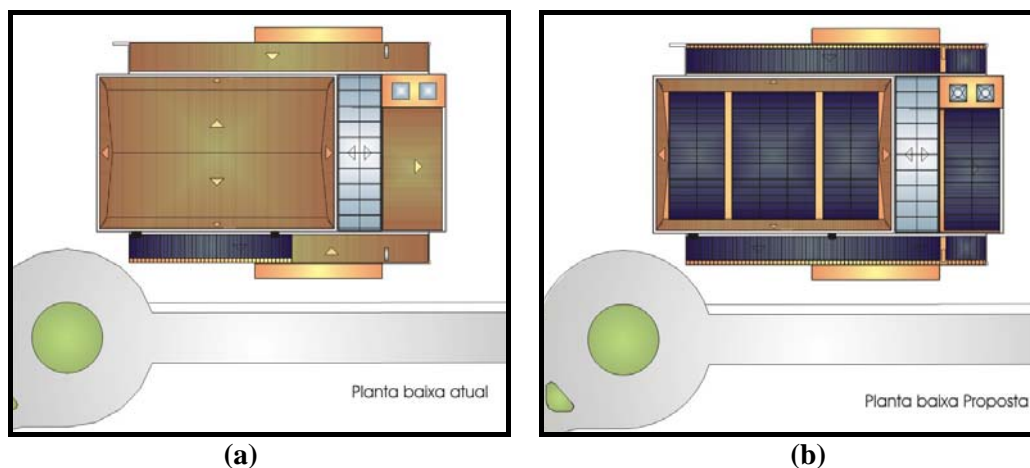


Figura 2 - Estudos da cobertura mostrando (a) a área ocupada pelo painel fotovoltaico atual e (b) a distribuição para ocupar praticamente toda a cobertura.

A tecnologia empregada no sistema atual é a de filme fino de silício amorfo (a-Si), de junção tripla, com eficiência nominal de 6,0% e coeficiente de temperatura para potência ($T_{P\ COEF}$) desprezível (RÜTHER e DACOREGIO, 2000).

Para demonstrar o potencial da geração fotovoltaica, foram escolhidos módulos de duas outras tecnologias: silício monocristalino (m-Si), com eficiência de 13,5% (RÜTHER et al, 2004), e heterojunção com camada intrínseca fina (HIT - *Heterojunction with Intrinsic Thin layer*) desenvolvida pela Sanyo, com eficiência de 17,0% (SANYO, 2006), para constituir mais dois novos sistemas. A Tabela 1 lista a potência nominal dos módulos considerados, as respectivas tecnologias, áreas, eficiências especificadas para STC^2 ($E_{f(STC)}$) e coeficiente de temperatura para potência ($T_{P\ COEF}$).

Tabela 1 - Características dos módulos fotovoltaicos considerados neste trabalho.

Potência nominal do módulo (W)	Tecnologia	Área (m ²)	$E_{f(STC)}$ (%)	$T_{P\ COEF}$ (%/°C)
128	a-Si	2,16	6,0	0,00
170	m-Si	1,26	13,5	- 0,40
200	HIT	1,18	17,0	- 0,29

Os valores de eficiência dos módulos, especificados para STC , foram corrigidos para a temperatura nominal de operação da célula, $NOCT^3$ ($E_{f(NOCT)}$) de 45°C, utilizando os valores de coeficiente de temperatura para potência ($T_{P\ COEF}$) constantes da Tabela 1 e a Equação 1:

$$E_{f(NOCT)} = E_{f(STC)} \{ 1 - [(|T_{P\ COEF}| \times \Delta T)/100] \} \quad [Eq. 1]$$

A Tabela 2 apresenta os valores de eficiência corrigidos e outras características dos módulos utilizados. Para comparar a geração potencial dos novos sistemas propostos, empregando as três diferentes tecnologias, a geração média anual de cada sistema foi estimada por extrapolação com base na geração atual. Os valores estão mostrados na Tabela 2, que também mostra o percentual de atendimento do consumo do prédio para cada tecnologia. Verifica-se pelos valores da Tabela 2 que as duas tecnologias estudadas, m-Si e HIT, atenderiam ao consumo energético da edificação com grande margem de folga (205% e 283%), o que certamente atenderia também à carga devida ao ar condicionado.

² STC - *Standard Test Conditions* - Condições Padrão de Teste (temperatura do módulo = 25 °C; irradiância = 1000 W/m² e massa de ar (*Air Mass*), $AM = 1,5$), para as quais são normalmente especificadas as características de módulos fotovoltaicos.

³ $NOCT$ - *Nominal Operating Cell Temperature* - temperatura nominal de operação da célula, considerada 45°C neste trabalho.

Tabela 2 - Comparação da geração potencial com três tecnologias FV comercialmente disponíveis, utilizadas neste trabalho, e respectivos percentuais de atendimento do consumo do Centro de Eventos.

Tecnologia do módulo FV	Área do módulo (m ²)	Quantidade de módulos	Potência nominal (kWp)	EFF _{NOCT} (%)	Potência corrigida (kWp)	Energia gerada (kWh/ano)	Atendimento do consumo (%)
a-Si	2,16	1.040	133.120	6,0	133.120	181.708	105 %
m-Si	1,26	1.780	302.600	12,42	268.390	355.352	205 %
HIT	1,18	1.900	380.000	16,01	357.870	488.492	283 %

2.2 Certificação verde

A geração de energia elétrica na própria edificação, a partir de fonte renovável, recebe pontos num processo de certificação verde, como o do sistema *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)*, desenvolvido pelo Conselho de Edificações Verdes dos Estados Unidos (*U.S. Green Building Council - USGBC*). O *LEED* é um sistema de avaliação e certificação, de adoção voluntária, que apresenta níveis de referência para projeto, construção e operação de edificações verdes de alto desempenho e oferece ferramentas que permitem avaliar o desempenho das edificações em cinco áreas chave da saúde humana e ambiental: desenvolvimento local sustentável; uso eficiente de água; eficiência energética; seleção de materiais e qualidade ambiental interna (USGBC, 2007).

O sistema *LEED* já certificou mais de 300 edificações nos Estados Unidos e tem 9 processos de certificação para edificações, existentes ou projetadas, localizadas no Brasil (USGBC, 2007). Como exemplo de projeto em certificação tem-se o Edifício Primavera Office Green (MONTES, 2006).

O sistema *LEED* para Edificações Existentes (*LEED-EB Green Building Rating System*), na seção de Energia e Atmosfera, atribui até 4 pontos para a geração de energia renovável local (*on-site*) ou fora do local (*off-site*) de acordo com a contribuição para consumo total da edificação, sendo um ponto para cada 3% de contribuição da geração local relativamente ao consumo (LEED-EB, 2004).

O sistema fotovoltaico conectado à rede, instalado no Centro de Eventos, é uma forma de geração local de energia renovável. Este sistema apresentou, ao longo de dois anos de operação, uma geração diária média de 38 kWh, fornecendo energia correspondente a aproximadamente 7,9% do consumo da edificação (VIANA e RÜTHER, 2007). Esses valores permitem obter 2 pontos em um processo de certificação pelo sistema *LEED* para Edificações Existentes.

2.3 Sistema Isolado - Posto de Energia Solar

Os atuais níveis de utilização de combustíveis fósseis, para meios de transporte e geração de energia, constituem uma das maiores barreiras para se chegar ao chamado desenvolvimento sustentável. Neste cenário, a energia solar fotovoltaica proporciona uma significativa contribuição na transição para fontes renováveis, que são a chave para uma sociedade sustentável (PRASAD e SNOW, 2005).

O segundo exemplo de integração de elementos fotovoltaicos ao Centro de Eventos aponta na direção de substituição de combustíveis fósseis por uma fonte renovável. É um Posto de Energia Solar Fotovoltaica, destinado a fornecer energia para motocicletas elétricas, a partir da energia do sol. Neste sistema, a energia gerada é armazenada em um banco de baterias para, quando necessário, recarregar as baterias da motocicleta elétrica *Mobilec*. Esta motocicleta está em fase de teste para ser utilizada no *campus* da UFSC devido a algumas vantagens intrínsecas, como ser silenciosa e não emitir gases poluentes. A *Mobilec* possui um motor elétrico na roda traseira, alimentado por 2 baterias localizadas na parte central. O fabricante especifica uma velocidade máxima de 35km/h e autonomia média de 40km, o que significa que as baterias devem ser recarregadas após rodar esta distância.

O sistema do Posto de Energia Solar é constituído por um painel fotovoltaico, localizado sobre uma estrutura metálica curva, fixada na fachada norte do prédio; um controlador de carga e um banco de baterias. A configuração do painel fotovoltaico foi estudada visando à melhor integração arquitetônica com a fachada do prédio (como pode ser visto de forma panorâmica na Figura 1).

O painel e a motocicleta, estacionada sob o mesmo, estão mostrados na Figura 3.



Figura 3 - Posto de Energia Solar, com painel fotovoltaico composto por 6 módulos flexíveis, de filme fino de silício amorfo, e a motocicleta elétrica *Mobilec*.

O painel é composto por 6 módulos flexíveis de 64W, de filme fino de silício amorfo (a-Si), junção tripla (*Uni-Solar*, modelo PVL-64). A energia gerada é levada a um controlador de carga (Unitron, modelo LVD 12), cuja função é gerenciar o processo de carga e flutuação das baterias, de modo a maximizar a vida útil das mesmas. 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, cuja carga é monitorada pelo controlador de carga. Quando necessário, a energia é transferida para as baterias da motocicleta por meio de uma tomada com cabo apropriado, localizado sob a cobertura do Posto Solar, à semelhança de um posto de abastecimento de combustíveis convencional. O processo de certificação verde pelo sistema *LEED*, referido em 2.2, poderia receber pontuação adicional pelo fato do edifício prover uma tomada destinada a reabastecer veículo elétrico.

Para divulgar a aplicação da tecnologia fotovoltaica e seus benefícios, foram elaborados e afixados dois cartazes na parede do Posto de Energia Solar. O primeiro cartaz, mostrado na Figura 4, apresenta a tecnologia de forma simples e objetiva, suas características e vantagens, e as aplicações existentes na UFSC.

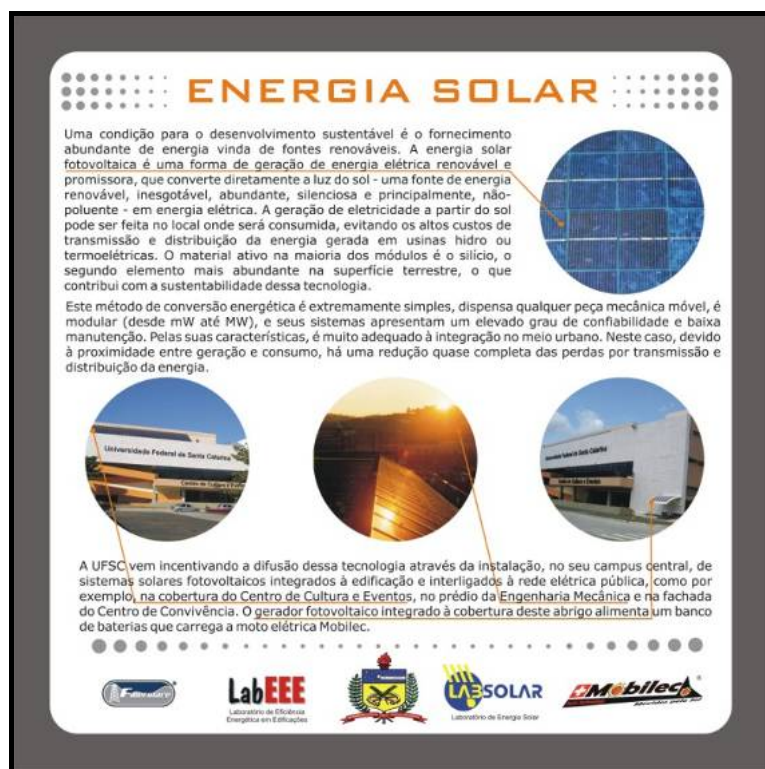


Figura 4 – Cartaz afixado no Posto de Energia Solar, explicando aspectos da tecnologia fotovoltaica, suas características, vantagens e algumas aplicações na UFSC.

O segundo cartaz, mostrado na Figura 5, traça um paralelo entre os processos de produção, armazenamento e distribuição do combustível de origem fóssil, neste caso a gasolina produzida a partir do petróleo, e de produção e armazenamento da energia elétrica a partir do sol. Em ambos os processos o objetivo final é alimentar um veículo automotor.

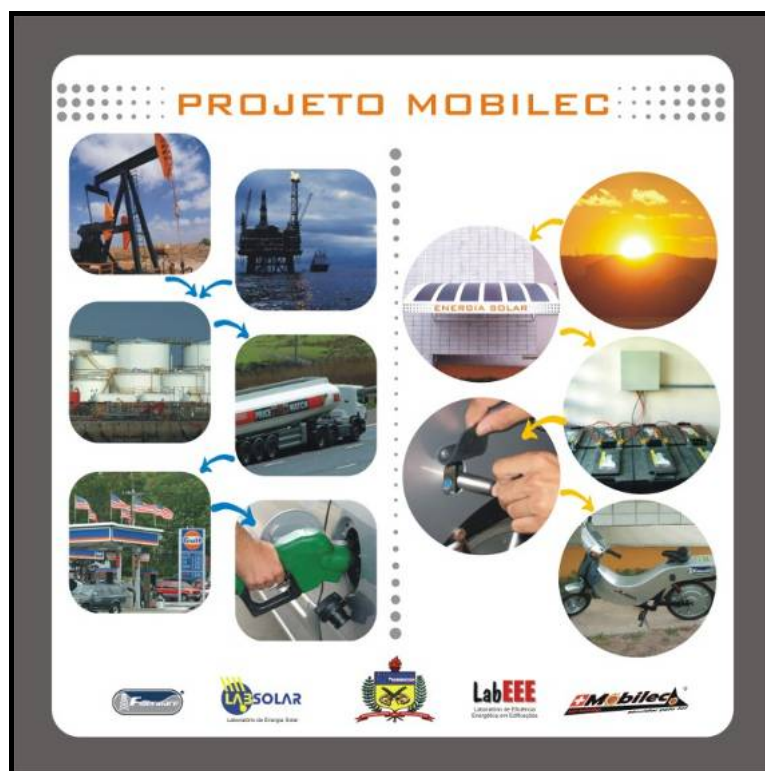


Figura 5 – Cartaz afixado no Posto de Energia Solar, mostrando os processos de produção de combustível para alimentar um veículo movido a gasolina e um veículo elétrico.

2.3 Sistema Isolado - Iluminação de Emergência

O terceiro sistema alimenta o circuito de iluminação de emergência que atende às rampas de acesso às entradas laterais do auditório do Centro de Eventos. O sistema é composto por um painel fotovoltaico; um controlador de carga; banco de baterias e 4 (quatro) pontos de luz de emergência com comutador automático. A energia elétrica gerada pelo painel fotovoltaico passa pelo controlador de carga e é armazenada no banco de baterias, o qual alimenta os pontos de luz de emergência. Estes pontos possuem uma ligação com a rede elétrica do prédio destinada apenas a informar aos comutadores quando houver falta de energia e, neste caso, os pontos serão conectados automaticamente às baterias, acendendo as luzes de emergência.

Para a integração do painel fotovoltaico à estrutura da edificação foram levados em conta os aspectos de integração harmônica à edificação, de visibilidade, tendo em vista a divulgação da tecnologia e da geração de energia, que é função da radiação solar incidente. Inicialmente foi escolhida a fachada norte e integração vertical sobre a mesma. Os estudos de incidência de radiação e de sombreamento mostraram que a energia gerada, nesta posição, seria suficiente para manter o banco de baterias em regime de plena carga. Dentre as propostas estudadas para a escolha da melhor disposição dos módulos sobre a fachada, foi escolhida e instalada a configuração mostrada na Figura 6, na qual os módulos estão dispostos de forma alusiva à imagem tradicional do Sol.

O painel fotovoltaico é composto por 6 módulos rígidos de 64W, de filme fino de silício amorfo, junção tripla, com moldura de alumínio (*Uni-Solar*, modelo US-64). O controlador de carga (*Morningstar*, modelo *TriStar-60*) gerencia o processo de carga e mantém as baterias em flutuação, garantindo a autonomia do sistema. O banco de baterias é composto por 2 baterias de 12V, cada uma com capacidade de 220Ah (*Moura*, modelo *Clean*), conectadas em paralelo. Cada ponto de luz possui 2 (dois) faróis com lâmpadas halógenas de 55W e comutador automático.



Figura 6 - Painel fotovoltaico do sistema de iluminação de emergência, com forma alusiva à imagem tradicional do Sol, integrado à fachada norte do prédio do Centro de Eventos.

O banco de baterias foi dimensionado inicialmente para fornecer energia pelo período de 1 hora, que é a autonomia especificada pela norma NBR 10898 - Sistema de Iluminação de Emergência (ABNT, 1999). Considerou-se que, durante este período, o banco deverá atingir profundidade de descarga de 20%, e fornecer energia igual a 440Wh, necessária para alimentar os 4 (quatro) pontos de luz, com 2 (duas) lâmpadas halógenas de 55W. O banco de baterias instalado apresenta o dobro da capacidade calculada inicialmente, visando dar maior garantia ao sistema.

3. CONCLUSÃO

O presente artigo apresentou três exemplos de integração de sistemas fotovoltaicos ao prédio do Centro de Eventos da UFSC. Cada sistema foi dimensionado de modo a atender simultaneamente a critérios energéticos e arquitetônicos. O sistema conectado à rede, com potência de 10,24kWp, foi instalado atendendo aos requisitos de maximização da geração de energia ao longo do ano, apresentando um valor médio de geração que corresponde a aproximadamente 7,9% do consumo da edificação, excetuando o ar condicionado. Esta geração local é suficiente para conferir 2 pontos em um processo de certificação verde para o edifício, como o do sistema *LEED*. Utilizando-se a totalidade da área de cobertura disponível para aumentar a potência instalada, resultaria num sistema com 133,12kWp. Este novo sistema, se mantidas as atuais médias de geração e consumo, teria potencial para gerar 181.708,8 kWh por ano, suprimindo um pouco além (105%) da totalidade do consumo anual médio do prédio, estimado em 172.747,2 kWh. Verificou-se, ainda, que duas tecnologias FV (m-Si e HIT) poderiam ser utilizadas, nos mesmos moldes desse novo sistema, e atenderiam ao consumo energético da edificação gerando, respectivamente, duas vezes e quase três vezes o valor do consumo, o que certamente atenderia também à carga devida ao ar condicionado. Normalmente edificações do porte e padrão de uso do Centro de Eventos apresentam elevado consumo anual de energia. No entanto, a instalação de um sistema fotovoltaico utilizando a área total disponível na cobertura, com tecnologia adequada, poderia produzir energia comparável ou superior ao consumo energético anual de toda a edificação.

Os dois sistemas isolados, com baterias, embora não apresentem a característica de maximização da eficiência da conversão de energia solar em elétrica, atendem às necessidades energéticas para os quais foram dimensionados e apresentam configuração e integração arquitetônica apreciáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Administração do Centro de Eventos da UFSC, à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e à Empresa FIBERWARE (Projeto *MOBILEC*).

4. REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10898**: Sistema de Iluminação de Emergência. Rio de Janeiro, 1999.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informações de Geração**, 2006. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: janeiro 2007.
- BEYER, H. G., RÜTHER, R., KREUTZER, N. Estimation of the yield of building integrated a-Si PV-installations in Brazil based on long term performance data of a 2 kWp system. In: **17th European Photovoltaic Solar Energy Conference**, Munich, Germany, pp. 22-26, October 2001.
- MME. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2005** - Disponível em: <www.mme.gov.br> Acesso em: dezembro 2006.
- MONTES, M.A.T., LAMBERTS, R., RUTTKAY, F.O., et al. Certificação LEED como Norteador do Processo de Projeto para um Edifício Comercial em Florianópolis, Brasil. In: **Anais XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - XI ENTAC**. Florianópolis. 2006.
- KESHNER, M. S. e ARYA, R. **Study of Potential Cost Reductions Resulting from Super-Large-Scale Manufacturing of PV Modules**, Report NREL/SR-520-36846, National Renewable Energy Laboratory, Golden - CO, USA, pp. 1-50. 2004. Disponível em: <www.nrel.gov>.
- PEREZAGUA, E. New Rising Era for Photovoltaic Integration in Buildings. In: **European Union Sustainable Energy Week**. 29 January - 2 February 2007. Brussels. Disponível em: <http://www.eupvplatform.org/fileadmin/Documents/070202_001_Perezagua.pdf>. Acesso em: fevereiro 2007.
- PHOTON. PHOTON International. Solar Verlag GmbH. Aachen, Germany. March 2006.
- PRASAD, D. e SNOW, M. Designing with Solar Power – A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV). Earthscan. London. 2005.
- RÜTHER, R. Experiences and operational results of the first grid-connected, building integrated, thin film photovoltaic installation in Brazil. In: **Proceedings of the 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion**. Vienna, Austria. pp. 2655-2658. 1998.
- RÜTHER, R. e DACOREGIO, M.M. Performance Assessment of a 2 kWp Grid-Connected, Building-integrated, Amorphous Silicon Photovoltaic Installation in Brazil, **Progress in Photovoltaics: Research and Applications** 8 (2000) 257-266.
- RÜTHER, R. Edifícios Solares Fotovoltaicos - O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil. Editora UFSC / LABSOLAR. Florianópolis. 2004.
- RÜTHER, R., BEYER, H. G., MONTENEGRO, A. A. DACOREGIO, M. M. SALAMONI, I. T. e KNOB, P. Performance Results of the First Grid Connected, Thin Film PV Installation in Brazil: High Performance Ratios Over Six Years of Continuous Operation. In: **Proceedings of the 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference**. Paris, France, pp. 1487-1490. 2004.
- SANYO. HIT Photovoltaic Module HIP-200BE11 Datasheet - IEC Specification - 2006. Disponível em: <http://www.sanyo.co.jp/clean/solar/hit_e/>. Acesso em: janeiro 2007.
- SICK, F. e ERGE, T. Photovoltaics in Buildings – A Design Handbook for Architects and Engineers. James & James. London. 1996.
- USGBC. U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED-EB - Green Building Rating System for Existing Buildings - Upgrades, Operations and Maintenance**. Vers. 2. Washington, DC. 2005.
- USGBC. U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. Disponível em: <<http://www.usgbc.org>>. Acesso em: janeiro de 2007.
- VIANA, T. S. e RÜTHER, R. Análise do Desempenho de um Sistema Fotovoltaico de 10kWp Conectado à Rede Elétrica. In: **I Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Fortaleza, Ceará. 2007.
- ZWAAN, B. RABL, A. The learning potential of photovoltaics: implications for energy policy. **Energy Policy**, vol. 32, n. 13, pp. 1545-1554. 2004.