

# PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA O EDIFÍCIO DO FÓRUM DE PALMAS – TO

**Elen Oliveira Vianna.** e-mail: [elen@etfto.gov.br](mailto:elen@etfto.gov.br)

Programa de Pesquisa e Pós-Graduação. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília.

**Marta Adriana Bustos Romero.** e-mail: [romero@unb.br](mailto:romero@unb.br)

Universidade de Brasília, LASUS – Laboratório de Sustentabilidade na Arquitetura e Urbanismo

**Ricardo Rüther.** e-mail: [ruther@mbox1.ufsc.br](mailto:ruther@mbox1.ufsc.br)

Universidade Federal de Santa Catarina, LABSOLAR e LABEEE – Laboratório de Energia Solar & Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.

## 3.6 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede

**Resumo.** O presente estudo visa à utilização de fontes alternativas de energia aliada à produção arquitetônica contemporânea. Compõe-se pela contextualização da utilização de sistemas solares ativos na **arquitetura**; seguido pelo estudo de caso do edifício do Fórum de Palmas - TO; e, pelo dimensionamento do **Sistema Solar Fotovoltaico** integrado ao edifício público em questão. Quanto ao edifício, dados relevantes foram observados, como: área e forma da cobertura, aberturas zenitais; posicionamento geográfico, azimute, latitude; envoltório e área das fachadas; obstruções do entorno; consumo de energia elétrica. Quanto aos cálculos do sistema, verificou-se a inclinação ideal para aquela localidade com a utilização do RADIASOL, programa desenvolvido pela UFRGS, que possibilita a obtenção da radiação solar incidente ao longo de um ano em determinada região baseando-se na latitude local e no ângulo de inclinação do painel. Para o cálculo da potência nominal instalada, considerou-se o consumo de energia da edificação, seguido do ganho de radiação solar incidente no plano de arranjo fotovoltaico e do rendimento do sistema.  $P_{cc} = (E/G_{poa})/R$ . Para o cálculo da área necessária ao suprimento da energia consumida, considerou-se a potência nominal instalada e a eficiência do sistema.  $A = (P_{cc}/Eff) \times 100$ . E para o cálculo do percentual de contribuição, considerou-se que a energia gerada provém da multiplicação da potência nominal instalada, pela média mensal da radiação solar incidente, pelo rendimento do sistema, e pelos dias do mês.  $E_g = P_{cc} \times G_{poa} \times R \times 30$ . Os cálculos realizados para a cobertura serão também considerados para as fachadas. Com esta metodologia, busca-se calcular diversas possibilidades de painéis fotovoltaicos, sendo que o principal objetivo é gerar energia elétrica a partir da utilização da **energia solar**, avaliando-se ao longo do estudo, a contribuição do sistema ao consumo da **energia elétrica** convencional. E complementando a abordagem, propõe-se a verificação parcial da viabilidade econômica do sistema.

**Palavras-chave:** Arquitetura, Energia Solar, Sistema Solar Fotovoltaico, Energia Elétrica.

## 1.0 INTRODUÇÃO

### 1.1 Arquitetura Sustentável

O conceito de arquitetura sustentável refere-se à arquitetura que se adapta às condições naturais locais, incluindo o clima, a topografia, a vegetação e materiais disponíveis; além de mencionar os traços culturais de uma determinada região. Neste contexto está inserida a chamada arquitetura bioclimática, que tem origem na arquitetura vernacular e adequa-se com precisão ao conceito.

A arquitetura bioclimática é uma etapa atual do movimento climático-energético, e uma forma de desenho lógico que reconhece a persistência do existente, e culturalmente adequada ao lugar e aos materiais locais e utiliza a própria concepção arquitetônica como mediadora entre o homem e meio (BUSTOS ROMERO, 2001).

Atualmente o conceito de arquitetura sustentável vem adquirindo conotações complementares e pertinentes à condição de urgência à proteção ambiental em que vivemos. Os nomes em destaque na produção da arquitetura contemporânea buscam aliar o velho conhecimento da arquitetura vernacular às tecnologias disponíveis no mercado.

Quanto a este processo, de adaptação dos arquitetos à nova realidade na produção dos edifícios, cabe abertura para discussão em outro espaço, uma vez que a apreensão de novas tecnologias, novos programas de simulação, os quais deveriam ser utilizados como ferramentas de projeto, enfim, a readaptação a esta nova realidade, tem causado impactos e muitas vezes certa resistência de boa parte da categoria de profissionais, o que por sua vez reflete-se na arquitetura produzida.

### 1.2 Fontes alternativas de energia

A crise do petróleo, em 1973, motivou o aparecimento de trabalhos como os de Baer (1973), Watson (1977), Vale (1978), Mazria (1979), que unem a preocupação com economia de energia convencional às preocupações com a incorporação dos fatores ambientais ao desenho. Estes estudos analisam os fatores determinantes do consumo, do uso e da obtenção das energias de fontes não renováveis nos espaços construídos e nas funções urbanas (transportes, serviços coletivos, atividades residenciais, comerciais e industriais). Surgem propostas para reduzir a rigidez estrutural da

demanda de energia e assegurar a flexibilidade espacial na implementação de sistemas energéticos substitutivos. (BUSTOS ROMERO, 2001).

Da crise do petróleo, então, originam-se estudos que buscam a utilização de energia de fontes naturais (água, sol e vento) na construção e climatização das edificações.

Quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. As fontes de energia são, em última instância, derivadas do sol. É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a conseqüente geração de eletricidade (hidroeletricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar. (CRESESB, 1999).

A influência da arquitetura solar durante os anos que seguem à crise do petróleo de 1973, com destaque para suas modalidades solarizada, autônoma e bioclimática, é também uma reação à inadequação térmica da arquitetura moderna. (BUSTOS ROMERO, 2001).

Bustos Romero (2001) contextualiza a utilização de fontes alternativas de energia integradas à arquitetura, diferenciando as categorias da produção arquitetônica surgida em decorrência da crise energética. Com este objetivo, a autora utiliza conceitos retirados da revista *Architecture d’Aujourd’hui* de nº 192, de 1977. Onde relata-se que: Arquitetura solarizada é a que faz uso dos chamados sistemas ativos de captação sobrepostos aos volumes construídos; Arquitetura autônoma é a que reivindica a independência energética dos volumes construídos; e Arquitetura bioclimática é a que modifica os volumes internos e sua pele a fim de melhorar o fluxo energético que atravessa a construção. (BUSTOS ROMERO, 2001).

Bustos Romero (2001) diferencia ainda os modelos bioclimáticos e os sistemas tecnológicos. Os primeiros aproximam-se das concepções vernáculas, enquanto os segundos se apóiam na industrialização e na standardização. Estes últimos também são chamados de sistemas ativos solarizados. (BUSTOS ROMERO, 2001).

No presente estudo, portanto, o foco é a Arquitetura solarizada, ou os sistemas ativos solarizados nos dias atuais.

### 1.3 Energia solar fotovoltaica

A Energia Solar Fotovoltaica (FV) é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão. Inicialmente o desenvolvimento da tecnologia apoiou-se na busca, por empresas de telecomunicações, de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas. O segundo agente impulsor foi a “corrida espacial”. (...) A crise energética de 1973 renovou e ampliou o interesse em aplicações terrestres. (...) Em 1993 a produção de células fotovoltaicas atingiu a marca de 60 MWp, sendo o Silício quase absoluto no “ranking” dos materiais utilizados. O Silício, segundo elemento mais abundante na superfície do globo terrestre, tem sido explorado sob diversas formas: monocristalino, policristalino e amorfo. No entanto, a busca de materiais alternativos é intensa e concentra-se na área de filmes finos, onde o silício se enquadra. Células de filmes finos, além de utilizarem menor quantidade de material do que as que apresentam estruturas cristalinas requerem uma menor quantidade de energia no seu processo de fabricação. Ou seja, possuem uma maior eficiência energética. (CRESESB, 1999).

Painéis fotovoltaicos estão comercialmente disponíveis desde meados dos anos 1970 e foram inicialmente usados para fornecer energia elétrica a algumas edificações demonstrativas, como aquelas que ainda funcionam no Centre for Alternative Technology no País de Gales. Entretanto, foi nos anos 1990 que houve a primeira grande explosão de FV no mundo. A Alemanha e o Japão abriram o caminho, com o Japão instalando 110MWp em 2001, a Alemanha instalando 77MWp e os EUA instalando 18MWp. Esses três programas representavam mais da metade da produção mundial de FV em 2001. A Holanda e a Espanha vinham a seguir na lista de instalações. Alguns países estão bem atrás da corrida solar. A Grã-Bretanha instalou cerca de 300KWp em 2001, mas, devido a um programa governamental, é possível que tenha alcançado 1MW em 2002. (ROAF, 2006).

A eletricidade produzida por cada metro quadrado de FV pode efetivamente evitar emissões de mais de duas toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera ao longo de sua vida útil. Poucas pessoas hoje acreditam que as emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera possam continuar a crescer sem conseqüências funestas, como o aquecimento global. O amplo uso de energia FV em edificações pode ajudar a reduzir tais impactos ambientais das edificações, as quais são responsáveis por gerar mais de 50% de todas as emissões globais de gases-estufa. (ROAF, 2006).

Estudos já realizados relatam que devido à excelente performance que os painéis de a-Si (Silício amorfo) têm demonstrado, estes são uma boa escolha de tecnologia para rede-conectada, integração com a edificação e utilização em climas quentes como no Brasil (RUTHER, 2004).

### 1.4 Sistemas solares fotovoltaicos integrados a edifícios e rede urbana

Estes sistemas utilizam grandes números de painéis fotovoltaicos, e não utilizam armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente na rede. Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectada. Todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida estes são guiados diretamente na rede. Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada. (CRESESB, 2004).

A geração de energia elétrica convencional é centralizada e distante do ponto de consumo, isso faz com que o sistema gere perdas na distribuição, aumentando os custos da produção da energia e causando danos às concessionárias e ao meio ambiente. No entanto, a geração distribuída oferece inúmeras vantagens ao setor elétrico, uma vez que a disposição da unidade de geração é próxima da carga, além disso, permite uma maior diversificação das tecnologias empregadas para a produção de energia. (RODRIGUES apud SALAMONI, 2004).

A possibilidade de integrar a geração ao ponto de consumo, utilizando a própria cobertura ou fachada, sem a necessidade de área adicional, e sem prejudicar a plástica do edifício, permite eliminar as perdas de energia elétrica que ocorreriam na transmissão. Este conceito refere-se à Geração Distribuída, que ainda é pouco abordada no Brasil.

No Brasil, as experiências mais comuns acontecem em sistemas fotovoltaicos isolados, isto é, instalados como alternativa para locais onde a energia convencional é de difícil acesso. São comunidades no interior de alguns Estados como: Ceará, Pará, Bahia, Alagoas e Tocantins. Experiências iniciais, que caminham para o que é realidade em outros países. Por outro lado, no Brasil é possível observar sistemas conectados à rede elétrica pública em funcionamento. Trata-se, por exemplo, de instalações como as realizadas na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC - em Florianópolis, onde painéis fotovoltaicos adaptam-se as fachadas e coberturas de alguns edifícios e proporcionam o estudo da geração fotovoltaica a pesquisadores de diversas partes do país.

### 1.5 Perspectivas futuras

Instalações solares fotovoltaicas, integradas a prédios comerciais de escritórios e interligados à rede elétrica pública, são um exemplo de aplicação ideal destes sistemas, onde picos de consumo e geração são muitas vezes coincidentes, aliviando assim o sistema de distribuição da concessionária elétrica. (RUTHER, 2004).

Alguns programas de governo são impulsionados pela necessidade de energia em determinados locais do Brasil, como por exemplo, o LUZ PARA TODOS, o qual vem possibilitando o acesso à energia em locais remotos, e por outro lado, proporcionado também o desenvolvimento da tecnologia em nosso país.

Neste sentido, a importância do estudo aplicado a um edifício público conectado à rede elétrica urbana, busca entre outros objetivos, demonstrar a viabilidade da aplicação da tecnologia proposta e popularizar a utilização da mesma, desmistificando a integração à produção arquitetônica.

A utilização de uma fonte alternativa de energia em edifícios públicos, consumidores de grandes quantidades de energia destinadas principalmente à climatização artificial, representaria uma grande contribuição ao meio ambiente. Talvez aos cofres públicos não fosse interessante inicialmente, mas a longo prazo, com certeza sim.

## 2.0 OBJETIVO

Aplicar metodologia de pré-dimensionamento de um sistema fotovoltaico para um edifício público conectado à rede elétrica urbana, verificando qual a melhor tecnologia de painéis a ser utilizada. O principal critério a ser analisado será o percentual de contribuição da energia elétrica a ser gerado pelo sistema fotovoltaico para suprir a necessidade de consumo do edifício. A escolha do edifício pode ser atribuída ao fato de ser um exemplo típico da arquitetura produzida para edifícios públicos no Tocantins não se tratando aqui de exemplo ideal de projeto. Ao contrário, tal exemplo visa propor questionamentos e críticas às edificações implantadas em um local com características climáticas de extremo, sendo utilizado como uma amostra.

## 3.0 LEVANTAMENTO DE DADOS

### 3.1 Descrição do local

O local escolhido para implantação do sistema fotovoltaico é o Fórum de Palmas, capital do Estado do Tocantins. O edifício é composto de três pavimentos: térreo, 1º e 2º; pátio interno descoberto e suas fachadas constituem-se em extensos panos de vidro, conforme o registro fotográfico (figura 1).



FACHADA NOROESTE



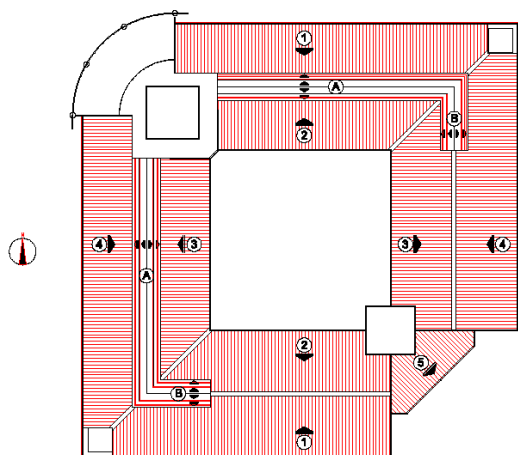
FACHADAS OESTE E SUL



**Figura 1 - Vista externa da edificação**

A cobertura do edifício totaliza uma área de 4275,96m<sup>2</sup>, composta por várias águas. O telhado divide-se em três tipos: a maior parte da área é do tipo aço galvanizado, alguns volumes menores têm laje impermeabilizada e o lanternim no eixo central dos blocos é coberto com telha translúcida de policarbonato. A inclinação das telhas em aço galvanizado é de 7%. A Figura 2 apresenta um esboço com a planta de cobertura do edifício, dividida em 13 áreas.

### 3.2 Área para instalação dos painéis



**Figura 2 – Esquema da cobertura do edifício**



**Figura 03 – Imagem aérea do edifício**

Fonte: [www.googleearth.com.br](http://www.googleearth.com.br). Acesso em 23 de abril de 2008 às 10:26 hs.

**Tabela 1 – área das fachadas**

Fachada	Área (m <sup>2</sup> )
Norte	911,62
Sul	820,82
Leste	820,82
Oeste	911,62
<b>Total</b>	<b>3464,88</b>

**Tabela 2 – área de coberturas**

Código área	Área (m <sup>2</sup> )
1	520,06
1	520,06
2	328,64
2	328,64
3	395,24
3	395,24
4	534,38
4	534,38
5	138,28
A	228,64
A	228,64
B	61,88
B	61,88
<b>Total</b>	<b>4275,96</b>

O Fórum não tem sombreamento de edifícios vizinhos (figura 3). Na cobertura, os volumes das caixas de escada causam certo sombreamento em determinados períodos do dia. Pela observação direta do local, nota-se que a área sombreada pelos volumes não é significativa, desta maneira o cálculo da geração fotovoltaica será priorizado.

A área das fachadas em pele de vidro também será considerada para instalação da película desenvolvida como alternativa de tecnologia fotovoltaica. Dispõe-se de 3464,88 m<sup>2</sup> de área total em fachadas (tabela 1).

Levantando as medidas pela planta de cobertura do projeto arquitetônico, considerou-se a área mais apropriada para a instalação dos painéis fotovoltaicos, conforme esquema da figura 2, totalizando 4275,96 m<sup>2</sup> (tabela 2).

### 3.3 Consumo de energia elétrica

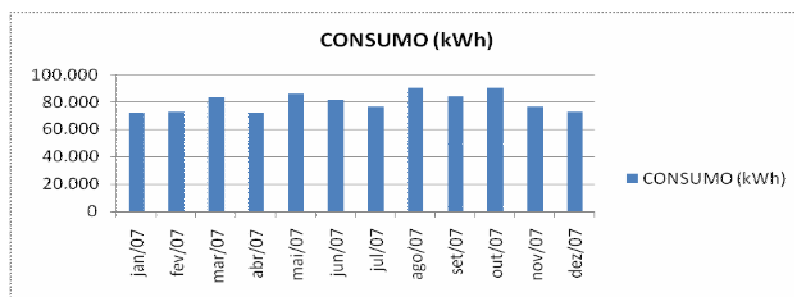
**Tabela 3 – Consumo médio mensal fora de ponta**

MÊS/ANO	CONSUMO (kWh)
jan/07	72.180
fev/07	72.506
mar/07	83.268
abr/07	72.048
mai/07	85.815
jun/07	80.977
jul/07	76.491
ago/07	89.933
set/07	84.047
out/07	89.994
nov/07	76.364
dez/07	72.598
<b>MÉDIA</b>	<b>79.685</b>

O estudo do consumo da energia elétrica no edifício foi possibilitado pelas informações obtidas junto à concessionária – REDE CELTINS - referente ao ano de 2007, conforme tabela 3. Para o presente estudo, serão considerados os chamados horários fora de ponta, ou seja, todos menos das 18 às 21:00hs (horário de ponta). O consumo fora de ponta total em 2007 foi de 956.221 kWh e o consumo médio mensal foi de 79.685 kWh (tabela 3).

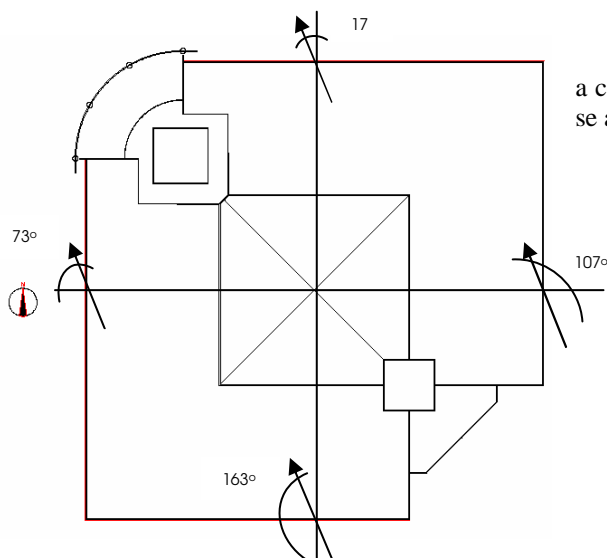
O maior consumo ocorre entre os meses de agosto a outubro, coincidindo com o período de maior calor e por sua vez de maior necessidade de utilização de climatização artificial (figura 4).

Em se tratando de um edifício público, o maior consumo de energia elétrica destina-se à climatização artificial, dividindo-se esta entre ar condicionado central e alguns individualizados como reforço; iluminação artificial; alguns refrigeradores (geladeiras e frigobar); e equipamentos de informática.



**Figura 4 – Variação no consumo médio mensal (ano 2007)**

### 3.4 Orientação geográfica



**Figura 5 – Azimutes das fachadas**

O edifício situa-se paralelo ao Norte Geográfico, sendo que a correção dos azimutes das fachadas foi calculada considerando-se a declinação magnética padrão de 15° (figura 5 e tabela 4).

**Tabela 4 – Correção dos Azimutes**

Fachada	Azimute		
	Norte Magnético	Declinação Magnética	Norte Geográfico
Norte	17	17	0
Sul	-163	17	-180
Leste	107	17	90
Oeste	-73	17	-90

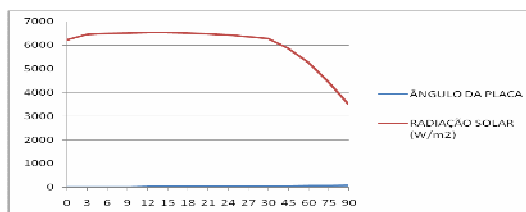
### 3.5 Radiação Solar

Para calcular a potência gerada pelos painéis foram necessários dados diários de radiação solar incidente. Os valores das médias mensais do total diário da radiação solar (kWh/m<sup>2</sup>/dia), em todos os meses do ano, foram obtidos no LABSOLAR/UFSC e alimentaram o banco de dados do programa RADIASOL 2.1, da UFRGS, o qual gera as médias

em função das diferentes orientações e inclinações dos painéis. Na cobertura os ângulos analisados para instalação dos painéis foram de 0° e 12°, e embora a latitude local seja 10°, após os cálculos com auxílio também do RADIASOL, concluiu-se que a segunda inclinação pode ser considerada a ideal (tabela 5 e figura 6).

**Tabela 5 – Radiação x incidência solar**

ÂNGULO DE INCLINAÇÃO (grau)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	45	60	75	90
RADIAÇÃO SOLAR (W/m <sup>2</sup> )	6220	6460	6496	6522	6532	6528	6506	6472	6424	6356	6278	5860	5278	4440	3498

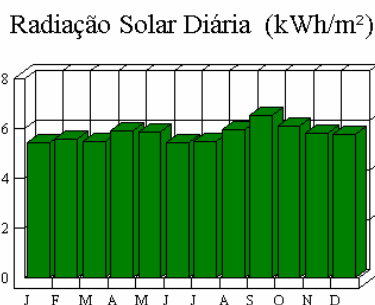


**Figura 6 – Gráfico da inclinação X radiação solar**

#### 4.0 O SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

##### 4.1 O potencial energético em Palmas para a geração fotovoltaica

Com o programa *RADIASOL 2.1*, desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande de Sul – UFRGS - gerou-se o gráfico (figura 7) com a distribuição média de radiação solar ao longo do ano sobre a cidade de Palmas, considerando-se uma superfície voltada para o norte e com a inclinação de 10°, correspondente à latitude local.



**Figura 7 – Gráfico gerado no RADIASOL. Dados de Palmas - TO**

A radiação solar global horizontal diária média ao longo do ano é de 5780 Wh/m<sup>2</sup>, sendo que as menores radiações ocorrem no mês de junho (média de 5432 Wh/m<sup>2</sup>), e as maiores radiações ocorrem no mês de setembro (média de 6528 Wh/m<sup>2</sup>).

##### 4.2 Cálculos referentes à geração do sistema

Pelo cálculo da potência nominal gerada a partir da radiação solar necessária para atender ao consumo médio diário da edificação, é possível estimar a área necessária de painéis a ser instalada. Esta é a área que faria do edifício sustentável em termos de consumo e produção de energia elétrica, tornando-o independente da energia fornecida pela concessionária.

As informações necessárias para o cálculo são: o consumo médio diário da edificação, que encontramos dividindo a média mensal anual pelos dias do mês (30). Este valor corresponde a 2656,17 kWh por dia; o ganho diário de radiação solar incidente no plano do arranjo fotovoltaico. Supondo a instalação dos painéis com um ângulo de inclinação igual a 10° e com um desvio azimutal em relação ao norte de 0° (acompanhando a direção do telhado), o ganho médio total de radiação durante o dia para a cidade de Palmas, fornecido pelo programa *RADIASOL 2.1*, corresponde a 5780 kWh/m<sup>2</sup> por dia. O rendimento do Sistema de Inversores e fiação tem valor situado tipicamente entre 70 e 90%, sendo que o adotado será R=80%. Para determinar a potência nominal instalada (P<sub>cc</sub>) necessária para atender a demanda da edificação utilizou-se a seguinte equação:

$$P_{cc} = \frac{E/G_{poa}}{R} \longrightarrow P_{cc} = \frac{(2656,17/5,780)}{0,8} \longrightarrow P_{cc} = 574,43 \text{ kW}_{Pcc} \quad (1)$$

Onde:

P<sub>cc</sub> = Potência média necessária (kW<sub>pcc</sub>);

E = Consumo médio diário durante o ano (kWh/dia);

G<sub>poa</sub> = Ganho por radiação solar: média mensal do total diário (kWh/m<sup>2</sup>/dia);

R = Rendimento do sistema (%).

Com este valor calcula-se então a área total a ser ocupada pelos painéis. O grau de eficiência do Sistema depende da tecnologia do painel fotovoltaico adotado. Nesta etapa ainda não está definido o equipamento a ser utilizado, então adota-se uma eficiência considerada alta de 12% para efeito estimativo.

E para o cálculo da área:

$$A_{total} = \frac{P_{cc} \times 100}{E_{ff}} \longrightarrow A_{total} = \frac{574,43 \times 100}{12} \longrightarrow A_{total} = 4.786,93 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Onde:

$A_{total}$  = Área de painéis (m<sup>2</sup>);

$P_{cc}$  = Potência média necessária (kW<sub>pcc</sub>);

$E_{ff}$  = Eficiência do painel (%).

Através dos cálculos percebe-se que a área disponível para aplicação dos painéis (4275,96 m<sup>2</sup>) não é suficiente para a geração da energia necessária ao suprimento de 100% do consumo energético do edifício. Sendo assim, o estudo que segue passa a verificar qual seria contribuição da energia gerada pelo sistema fotovoltaico a ser integrado na edificação em estudo.

### 4.3 Características dos equipamentos do sistema fotovoltaico

O objetivo é contribuir na geração da energia consumida pelo Fórum de Palmas durante os momentos de insolação. O sistema Fotovoltaico proposto é interligado à rede elétrica urbana, o que dispensa a utilização de baterias e por sua vez requer baixíssima manutenção. Os acumuladores, conhecidos como baterias, são os maiores responsáveis pelas ações de manutenção em sistemas fotovoltaicos.

O sistema Fotovoltaico é composto pelos seguintes equipamentos: conjunto de painéis fotovoltaicos, inversor de Corrente Contínua para Corrente Alternada, caixa de conexão em corrente contínua e sistema de proteção e manobra (figura 8).

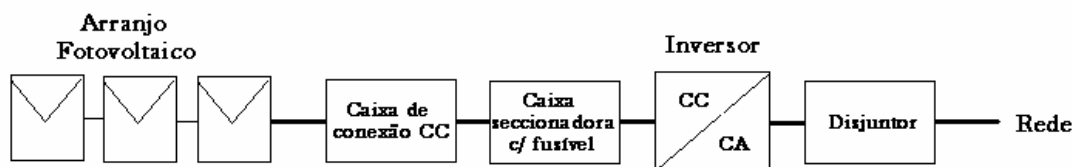


Figura 8 – Esquema de um Sistema Fotovoltaico interligado a rede elétrica

Adaptado de Rütther, 2004:49.

### 4.4 Simulações das melhores possibilidades

Para o modelo do painel utilizaremos a seleção feita por SALAMONI (2004) retirada de uma base de dados internacional (PHOTON INTERNATIONAL, 2003). Trata-se de quatro modelos que englobam três tecnologias: silício monocristalino, policristalino e amorfo; sendo que os principais critérios adotados foram: eficiência, dimensões, potência nominal, tensão e sua finalidade de aplicação (tabela 6).

Tabela 6 – Modelos de painéis utilizados

Características	Painéis Selecionados			
	A	B	C	D
Fabricante	Axitec	Solon	Alfasolar	Bekaert ECD Solar Systems
Modelo	AC-190P	SOLON P200 Q6	alfasolar 120 M	Uni-Solar US-64
Tipo das células	Policristalino	Policristalino	Monocristalino	Amorfo
Potência Nominal (W)	190	200	120	64
Comprimento (m)	1,335	1,600	1,293	1,366
Largura (m)	1,052	0,950	0,660	0,741
Espessura (m)	0,035	0,042	0,035	0,32
Eficiência (%)	13,5	13,2	14,1	6,3
Voltagem MPP (V)	20,4	29,4	17,9	16,5
Peso (kg)	15,9	17,0	11,8	9,17

PHOTON INTERNATIONAL, 2003

A título de comparação, são propostos dois momentos distintos para o cálculo da contribuição: um para a cobertura e outro para as fachadas. No primeiro (cobertura) há de se considerar os quatro modelos de painéis propostos, direcionados para o Norte (azimute 0°) e a inclinação de 10°; no segundo, apenas o silício amorfo aplicados sobre as fachadas de vidro, Norte, Sul, Leste e Oeste, com inclinação de 90°.

Como citado, embora a latitude local corresponda a 10° SUL, a inclinação ideal para os painéis calculada com o auxílio do programa Radiasol é de 12°.

### 4.5 Contribuição de redução da energia da rede

Para determinação da energia gerada, utiliza-se a equação:

$$E_g = P_{cc} \times G_{poa} \times R \times 30 = P_{cc} \times G_{poa} \times 0,8 \times 30 \quad (3)$$

Na tabela 07 apresenta-se um comparativo do consumo com a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos, bem como o percentual de contribuição desta geração.

**Tabela 07 – Percentual de contribuição do Sistema FV na cobertura**

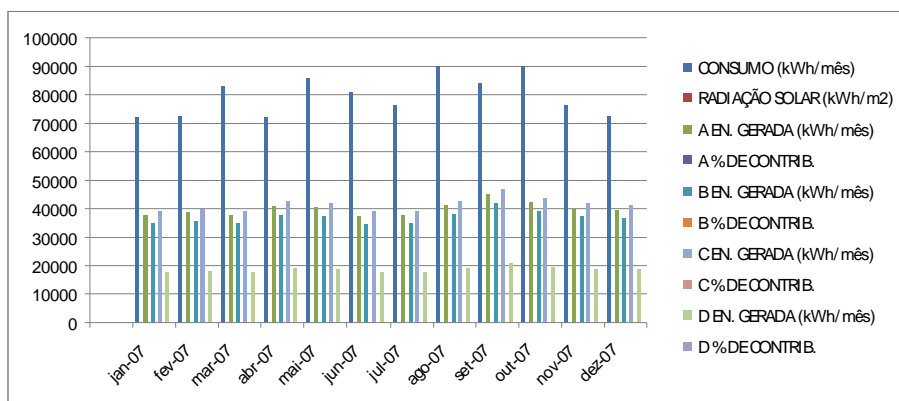
DATA	CONSUMO (kWh/mês)	RADIÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	A		B		C		D	
			EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.
jan-07	72.180	5,456	37.637	52,14	34.776	48,18	39.121	54,20	17.590	24,37
fev-07	72.506	5,588	38.548	53,16	35.617	49,12	40.067	55,26	18.015	24,85
mar-07	83.268	5,462	37.679	45,25	34.814	41,81	39.164	47,03	17.609	21,15
abr-07	72.048	5,932	40.921	56,80	37.810	52,48	42.534	59,04	19.124	26,54
mai-07	85.815	5,844	40.314	46,98	37.249	43,41	41.903	48,83	18.841	21,95
jun-07	80.977	5,432	37.472	46,27	34.623	42,76	38.949	48,10	17.512	21,63
jul-07	76.491	5,482	37.817	49,44	34.942	45,68	39.307	51,39	17.674	23,11
ago-07	89.933	5,964	41.142	45,75	38.014	42,27	42.763	47,55	19.227	21,38
set-07	84.047	6,528	45.032	53,58	41.609	49,51	46.807	55,69	21.046	25,04
out-07	89.994	6,098	42.066	46,74	38.868	43,19	43.724	48,59	19.659	21,85
nov-07	76.364	5,824	40.176	52,61	37.122	48,61	41.759	54,68	18.776	24,59
dez-07	72.598	5,752	39.679	54,66	36.663	50,50	41.243	56,81	18.544	25,54
<b>MÉDIAS</b>	<b>79.685</b>	<b>5,780</b>	<b>39.873</b>	<b>50,28</b>	<b>36.842</b>	<b>46,46</b>	<b>41.445</b>	<b>52,26</b>	<b>18.635</b>	<b>23,50</b>

A instalação dos painéis deve prever circulação em volta dos arranjos para eventuais manutenções e espaço suficiente para evitar o sombreamento de um arranjo sobre o outro. Desta maneira, no presente estudo considerou-se a ocupação de 49,68% da cobertura pelos painéis, um total de 2124,62 m<sup>2</sup>, e produzindo os seguintes valores de Potência dos sistemas:

- Opção A – painéis modelo *ACP-190P*, policristalino, 287,43 kWpcc;
- Opção B – painéis modelo *SOLON P200 Q6*, policristalino, 265,58 kWpcc;
- Opção C – painéis modelo *alfasolar 120M*, monocristalino, 298,76 kWpcc;
- Opção D – painéis modelo *Uni-solar US-64*, amorfo, 134,33 kWpcc.

Se por outro lado, fosse considerada apenas a utilização das coberturas com inclinação favorável aos painéis (figura 12), somente 13,66% do telhado seria utilizado, num total de 584,04 m<sup>2</sup>. Isto reduziria o percentual de contribuição dos sistemas, que teriam a seguinte configuração:

- Opção A – 79,01 kWpcc; Opção B – 73,00 kWpcc; Opção C – 82,13 kWpcc; Opção D – 36,93 kWpcc.



**Figura 9 – Gráfico de consumo no Fórum de Palmas e geração FV na Cobertura.**

O percentual médio de contribuição da geração fotovoltaica na cobertura ao longo do ano para a opção A – policristalino - é de 50,28%, para a opção B – policristalino – é de 46,46%, para a opção C – monocristalino - é de 52,26%, e para a opção D – silício amorfo – 23,50% da energia consumida no mesmo intervalo (figura 9).

Se o mesmo cálculo for realizado para verificação do percentual de contribuição das fachadas é necessário alimentar o RADIASOL com os dados referentes ao desvio azimutal do Norte (tabela 4) e a inclinação de 90° para obter



os valores da incidência solar, os quais conforme resultados obtidos são significativamente menores que os relativos à cobertura.

Para o cálculo da contribuição das fachadas, considerou-se a área de cada uma delas (tabela 1) em função do sistema escolhido – silício amorfo – chegando-se ao valor da Potencia do Sistema, sendo eles:

Fachada Norte: painéis modelo *Uni-solar US-64*, amorfo, 171,12 kWpcc;

Fachada Sul: painéis modelo *Uni-solar US-64*, amorfo, 154,07 kWpcc;

Fachada Leste: painéis modelo *Uni-solar US-64*, amorfo, 154,07 kWpcc;

Fachada Oeste: painéis modelo *Uni-solar US-64*, amorfo, 171,12 kWpcc.

Por acaso e em benefício do Sistema as maiores áreas destinam-se as de maior incidência solar, Norte e Oeste.

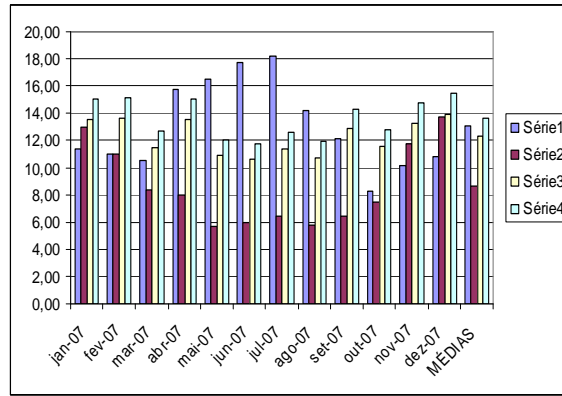
**Tabela 08 – Percentual de contribuição do Sistema FV na Fachada Norte**

DATA	CONSUMO (kWh/mês)	FACHADA NORTE		
		RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.
jan-07	72.180	1,998	8.206	11,37
fev-07	72.506	1,948	8.000	11,03
mar-07	83.268	2,138	8.781	10,54
abr-07	72.048	2,754	11.310	15,70
mai-07	85.815	3,442	14.136	16,47
jun-07	80.977	3,498	14.366	17,74
jul-07	76.491	3,388	13.914	18,19
ago-07	89.933	3,112	12.781	14,21
set-07	84.047	2,488	10.218	12,16
out-07	89.994	1,804	7.409	8,23
nov-07	76.364	1,886	7.746	10,14
dez-07	72.598	1,91	7.844	10,80
<b>MÉDIAS</b>	<b>79.685</b>	<b>2,53</b>	<b>10.392</b>	<b>13,05</b>

**Tabela 09 – Percentual de contribuição do Sistema FV nas demais Fachadas**

FACHADA SUL			FACHADA LESTE			FACHADA OESTE		
RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.
2,53	9.348	12,95	2,64	9.773	13,54	2,64	10.854	15,04
2,15	7.943	10,95	2,67	9.884	13,63	2,67	10.978	15,14
1,87	6.907	8,30	2,58	9.544	11,46	2,58	10.600	12,73
1,54	5.709	7,92	2,64	9.762	13,55	2,64	10.842	15,05
1,33	4.918	5,73	2,52	9.326	10,87	2,52	10.358	12,07
1,30	4.800	5,93	2,32	8.564	10,58	2,32	9.512	11,75
1,33	4.903	6,41	2,35	8.697	11,37	2,35	9.659	12,63
1,40	5.162	5,74	2,61	9.651	10,73	2,61	10.719	11,92
1,47	5.436	6,47	2,93	10.816	12,87	2,93	12.013	14,29
1,82	6.715	7,46	2,81	10.398	11,55	2,81	11.549	12,83
2,43	8.985	11,77	2,75	10.161	13,31	2,75	11.286	14,78
2,70	9.991	13,76	2,73	10.091	13,90	2,73	11.208	15,44
<b>1,82</b>	<b>6.735</b>	<b>8,62</b>	<b>2,63</b>	<b>9.722</b>	<b>12,28</b>	<b>2,63</b>	<b>10.798</b>	<b>13,64</b>

As fachadas Norte (tabela 8) e Oeste (tabela 9) são as de maior contribuição, sendo que a fachada sul é a de menor (figura 10). Este é um ponto a ser avaliado quanto ao custo benefício da instalação do sistema.

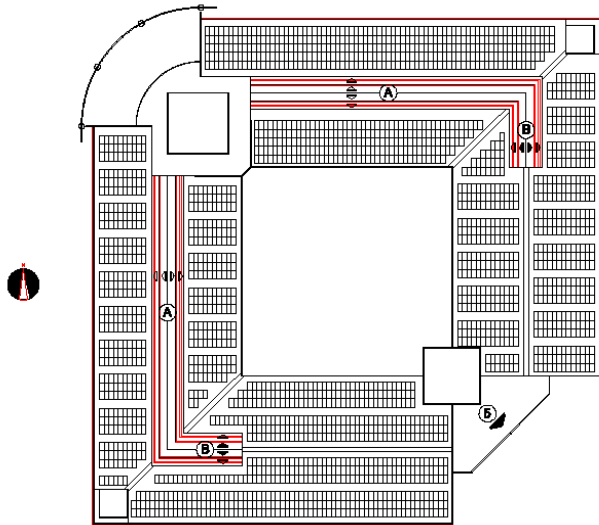


**Figura 10 – Gráfico da contribuição da Geração FV nas Fachadas.**  
 Série 1 = Norte ; Série 2 = Sul; Série 3 = Leste; Série 4 = Oeste.

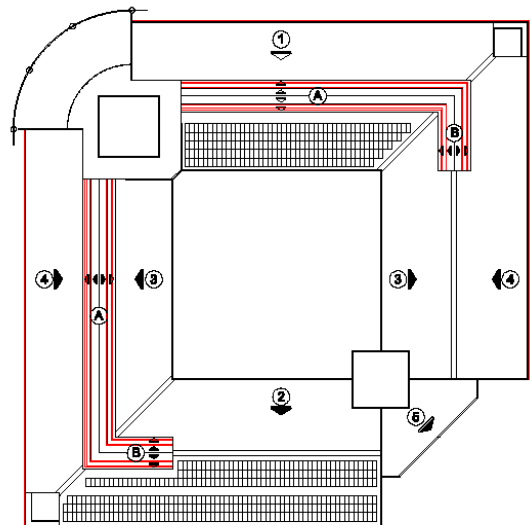
#### 4.6 Tecnologias mais apropriadas ao edifício em estudo

Ao considerar-se a cobertura é necessário estabelecer a retirada ou não do telhado existente, e qual a área a ser utilizada. Caso haja retirada total das telhas, torna-se necessária a impermeabilização da laje, custo a ser considerado junto à instalação dos equipamentos. A vantagem é a liberdade de utilização da área, com o posicionamento ideal dos painéis e liberação de áreas para circulação e manutenção do sistema (figura 11). Caso decida-se pela não retirada das telhas, então é necessário instalar os painéis apenas nas direcionadas ao Norte, reduzindo consideravelmente a área disponível (figura 12).

Nos cálculos comparativos entre as tecnologias disponíveis, nota-se o melhor desempenho dos painéis monocristalinos. Contudo, os painéis em silício amorfo têm maior resistência a altas temperaturas. A escolha da tecnologia ideal para o edifício em estudo teria então um critério multidisciplinar, isto é, para efeito acadêmico seria satisfatório dizer que os monocristalinos são mais adequados, mas especialistas em instalações destes sistemas exporiam outros critérios de relevância. Então, é correto afirmar que o estudo dá abertura para outros posicionamentos.



**Figura 11 – Planta de Cobertura – Projeção da distribuição dos painéis (sem escala) na posição ideal e considerando impermeabilização da laje e retirada do telhado. Ocupação de 49,68% da área.**



**Figura 12 – Planta de Cobertura – Projeção da distribuição dos painéis (sem escala) na posição ideal e sem a retirada das telhas. Ocupação de 13,66% da área.**

As áreas A e B da planta de cobertura (figuras 11 e 12) não foram consideradas para efeito da geração fotovoltaica, uma vez que sua forma curva exigiria cálculos diferenciados. O silício amorfo seria perfeitamente adequado para a adaptação à forma e o efeito translúcido que o local exige. Contudo, este detalhe da cobertura ficará para um detalhamento posterior do estudo.

Já para as fachadas, conclui-se que a película teria função maior em bloquear parte da incidência solar do que gerar energia elétrica propriamente, uma vez que a contribuição é consideravelmente menor que a da cobertura. Contudo, entre aplicar uma película comum nas fachadas e aplicar uma que irá produzir energia, a segunda teria maior justificativa.

#### 4.7 Análise da viabilidade econômica

**Tabela 10 – Consumo total de energia elétrica no Fórum de Palmas – TO em 2007**

MÊS	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	TOTAL
CONSUMO kWh	76.019	76.463	87.826	76.024	90.944	85.646	80.824	95.269	89.100	94.676	80.427	76.657	<b>1.009.875</b>
VALOR R\$	32.638	28.845	35.921	32.024	36.377	34.247	34.955	41.528	38.907	44.093	36.186	32.342	<b>428.067</b>

Atualmente o custo por kWp instalado é cerca de US\$ 8.000,00 - oito mil dólares (CRESESB, 2008). Considerando-se a implantação do sistema mais potente, os valores seriam de US\$ 8.000,00 x 298,76 kWp = US\$ 2.390.080,00 (dois milhões, trezentos e noventa mil e oitenta dólares). Considerando-se o dólar do dia a R\$ 1,65 (um real e sessenta e cinco centavos), o gasto seria de R\$ 3.943.632,00 (três milhões, novecentos e quarenta e três, seiscentos e trinta e dois reais).

No ano de 2007, o valor médio do kWh - tarifa convencional cobrada ao edifício do Fórum de Palmas - TO, foi de R\$ 0,42 (quarenta e dois centavos) e o consumo anual de energia elétrica 1.009.875 kWh (tabela 10), resultando no total cerca de R\$ 428.067,94 (quatrocentos e vinte oito mil, sessenta e sete reais, noventa e quatro centavos).

Considerando o sistema somente da cobertura, com a contribuição de 52,26% da energia, economizaria-se R\$ 223.708,30 (duzentos e vinte três mil, setecentos e oito reais, trinta centavos). O mesmo se pagaria em aproximadamente dezessete anos e meio, no caso de se considerar um payback simples, sem levar em conta o custo do dinheiro no tempo.

## 5.0 CONCLUSÕES

Em relação a aliar sistemas solares fotovoltaicos a produção arquitetônica, percebe-se que atualmente o conceito da sustentabilidade tem ampliado o entendimento do que foi produzido até o séc. XX, direcionando-se para a utilização de soluções tecnológicas eficientes, não só do ponto de vista da forma, mas de recursos e equipamentos avançados.

Sistemas solares integrados ao edifício e à rede pública de energia elétrica são alternativas viáveis tecnicamente. Aos custos atuais, no entanto, a mesma afirmação não pode ainda ser feita para o aspecto econômico do presente estudo de caso, que na possibilidade de geração de 41.445 kWh/mês, ou seja, 52,26% de contribuição de energia elétrica aos 79.685 kWh consumidos, o sistema solar fotovoltaico levou a um payback simples de 17 anos. A perspectiva é de que, em um futuro bem próximo, com as reduções de custos previstas, esta tecnologia enquadre-se perfeitamente no contexto sócio-econômico de nosso país, assim como a realidade dos países industrializados, que produzem os painéis. No Brasil a pesquisa, entre as diversas linhas, no sentido da produção de painéis vem sendo especificamente desenvolvida na PUC-RS, sinalizando avanços. Este fato somado aos programas governamentais como: o Luz para Todos, PRODEEM e outras ações voltadas também para a popularização da utilização de aquecedores solares para água, prenunciam o uso de sistemas solares fotovoltaicos em nosso país.

O pré-dimensionamento de um sistema, embora envolva certo número de variáveis é simples do ponto de vista construtivo. Sendo as seguintes variáveis consideradas para o edifício do Fórum de Palmas – TO: área - 4275,96 m<sup>2</sup>; forma da cobertura – quadrada com pátio interno descoberto; aberturas zenitais – cobertas com policarbonato; posicionamento geográfico - paralelo ao norte; azimute com declinação magnética de 17° NO; latitude – 10°S; envoltório em pele de vidro; área das fachadas - 3464,88 m<sup>2</sup>; obstruções do entorno - nenhuma; consumo de energia elétrica da edificação fora dos horários de ponta - 79.685 kWh (média mensal); ganho de radiação solar incidente no plano de arranjo fotovoltaico com média mensal anual de 5780 Wh/m<sup>2</sup>; rendimento do sistema – 80%; e eficiência do sistema – 12%.

Ao considerar-se a adaptação de edifícios prontos ou a previsão em um novo projeto, é necessário priorizar atenção à área útil para implantação dos painéis, bem como sua orientação e latitude local. Durante o estudo, constata-se que a teoria inicialmente colocada, de que a inclinação ideal seria igual a latitude - 10°S, deve ser melhor observada, uma vez que a inclinação mais eficiente encontrada - com auxílio do RADIASOL - para o caso em questão foi 12°, que embora aproxime-se do valor, é um pouco diferente da latitude local.

Em relação ao custo benefício da instalação dos painéis, há de se considerar se é vantajoso ou não a utilização de toda a área disponível - 4275,96 m<sup>2</sup> da cobertura somada aos 3464,88 m<sup>2</sup> das fachadas, ou apenas a de maior vocação, como é o caso das fachadas, por exemplo, que têm menor contribuição do que a área da cobertura (as fachadas somam 47,59% de contribuição, enquanto a cobertura 52,26%), em função principalmente da inclinação dos painéis. E entre as fachadas, a Sul teria contribuição bem menor que as demais (8,62%), então, talvez não seja interessante a utilização da mesma para geração fotovoltaica, uma vez que, entre outros fatores, é uma fachada de pouco aquecimento e não necessitaria de proteção contra o sol, um dos efeitos proporcionados pela película de tecnologia fotovoltaica. Assim, é fundamental o estudo de cada aspecto em particular.

Quanto à tecnologia mais apropriada, entre os painéis disponíveis no mercado, o que obtém maior rendimento é o de silício monocristalino (m-Si): contudo, o que tem maior resistência a altas temperaturas e maior adaptação ao edifício seria o de silício amorfo (a-Si). A diversidade de opções de painéis (silício policristalino - p-Si, silício monocristalino - m-Si, silício amorfo – a-Si, Telureto de cádmio - CdTe, Disseleneto de cobre – gálio, e índio - CIS e CIGS) a elevada vida útil (de 25 a 30 anos), e a baixa necessidade de manutenção do sistema os tornam atrativos do ponto de vista técnico. Do ponto de vista econômico, a energia solar fotovoltaica ainda não é competitiva com a abundante matriz energética proveniente de hidroelétricas. Esta por sua vez é altamente consolidada em nosso território e em alguns países vizinhos, além de ser parte predominante da estratégia governamental local. Do ponto de vista ambiental, contudo, a energia solar fotovoltaica é cada dia mais viável: afinal há de se avaliar, que a preservação para as gerações futuras não tem preço.

Finalmente, conclui-se que em relação a fontes alternativas de energia integradas a edificações, o grande passo na atualidade seria a tomada de consciência e adaptação da parte dos profissionais de arquitetura e da construção civil em

geral, despertando para a realidade atual e buscando adaptar-se ao manuseio e utilização das tecnologias disponíveis, situação que embora consideravelmente abordada, encontra-se em estágio atrasado.

### **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por iluminar meus pensamentos e a minha família pela compreensão e companheirismo. A Rede CELTINS e ao Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins pelo fornecimento dos dados referentes ao edifício do Fórum de Palmas – TO. Aos colegas da Escola Técnica Federal de Palmas, na pessoa do engenheiro eletricitista e professor Fábio Lima de Albuquerque pelas orientações e incentivos. Ao LASUS na pessoa da professora Marta Adriana Bustos Romero não só pelas orientações e incentivos, mas principalmente pela valorização da nossa profissão. Ao LABSOLAR & LABEEE na pessoa de Ricardo Rütther pelas informações sobre energia solar, pelo encaminhamento da metodologia, pela abertura e apoio à pesquisa científica.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- BUSTOS ROMERO, Marta Adriana Bustos. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Editora Universidade de Brasília. Brasília, 2001.
- CRESESB. **Energia solar - princípios e aplicações**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 15/02/2008.
- CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Edição Especial. PRC – PRODEEM 2004. Rio de Janeiro, 1999.
- ROAF, Susan; FUENTES, Manuel; THOMAS, Stephanie; tradução SALVATERRA, Alexandre. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. 2ª Edição. Ed. Bookman. Porto Alegre, 2006.
- RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**: Editora UFSC/LABSOLAR. Florianópolis, 2004.
- SALAMONI, I.; RUTHER, R.; KNOB, P.; ZOMER, C.; DINIZ, C. S. A. **O Potencial dos Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Edificação e Interligados à Rede Elétrica**: Dois estudos de caso. In: 10 Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). São Paulo, 2004.
- UFRGS. **Radiasol**. Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://www.mecanica.ufrgs.br/geste/>>. Acesso em: Fevereiro de 2008. ‘
- [www.googleearth.com.br](http://www.googleearth.com.br). Acesso em 23 de abril de 2008 às 10:26 hs.

## **PRÉ-DIMENSION OF THE PHOTOVOLTAIC SOLAR SYSTEM TO THE BUILDING OF FÓRUM DE PALMAS - TO**

**Elen Oliveira Vianna**. e-mail: [elen@effto.gov.br](mailto:elen@effto.gov.br)

Programa de Pesquisa e Pós-Graduação. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília.

**Marta Adriana Bustos Romero**. e-mail: [romero@unb.br](mailto:romero@unb.br)

Universidade de Brasília, LASUS – Laboratório de Sustentabilidade na Arquitetura e Urbanismo

**Ricardo Rütther**. e-mail: [ruther@mbox1.ufsc.br](mailto:ruther@mbox1.ufsc.br)

Universidade Federal de Santa Catarina, LABSOLAR e LABEEE – Laboratório de Energia Solar & Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.

### **X – Sistemas conectados à rede**

**Abstract.** *The present study is about the use of alternative energy sources connected to the contemporary architecture production. It is composed by the contextualization of active solar systems in architecture, followed by a case study of the Forum de Palmas-TO building, and by the measuring of the Photovoltaic Solar System integrated to the public building. Regarding the building, some relevant data were considered, such as: area and shape of the roof, zenital openings; geographic position, azimuth, latitude; building envelope and façade areas; environment obstructions; electrical power consumption. Regarding the system sizing, it was observed the ideal inclination of the panel for that place, using the RADIASOL software, a computer program developed by UFRGS, that makes it possible to obtain incident solar radiation during one year in a given region, based on the local latitude and on the inclination angle of the PV panel. To calculate the installed nominal power, the energy consumption of the building, followed by the gain of the incident solar radiation on the plan of photovoltaic array and the system efficiency were considered.  $P_{cc}=(E/G_{poa})/R$ . For the calculus of the necessary area to the supply of the consumed energy, it was considered the installed nominal potency and the efficiency of the system.  $A=(P_{cc}/Eff) \times 100$ . And, to calculate the contribution percentage, it was considered that the generated energy comes through the multiplication of the installed nominal potency by the incident solar radiation monthly average, by the system efficiency and by the days of the month.  $E_g=P_{cc} \times G_{poa} \times R \times 30$ . The calculi done for the roof will also be considered for the façades. Several possibilities of photovoltaic panels are to be calculated using this methodology and the main objective is to generate electric power from the utilization of solar energy. The contribution of the system to the conventional electric power consumption will be evaluated during the study. The partial verification of the economical viability of the system is proposed to supplement the approach.*

**Key words:** Architecture, Solar energy, Photovoltaic solar system, electric energy.