



POTENCIAL DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA FRENTE AO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS BRASILEIRAS

Martin O. Mizgier¹, Deivis Luis Marinoski¹, Priscila Braun¹ & Ricardo Rüther^{1,2}

¹ LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Caixa Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Brasil
e-mail: martin@labeee.ufsc.br

² LABSOLAR – Laboratório de Energia Solar, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Caixa Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Brasil
e-mail: ruther@mbox1.ufsc.br

RESUMO

O Brasil enfrenta um aumento contínuo da demanda energética e uma diminuição dos recursos disponíveis para ampliação do sistema de geração. As edificações residenciais são responsáveis por 21,9% da energia elétrica consumida no país. Assim, faz-se necessária a busca por novas fontes de geração que possam ser aplicadas neste setor. A geração fotovoltaica integrada ao entorno construído vem tomando importância crescente em todo o mundo e pode ser uma alternativa interessante para a geração distribuída no Brasil. Integrando sete tecnologias fotovoltaicas ao entorno construído de uma edificação hipotética, em três cidades (Florianópolis, Brasília e Natal) localizadas em diferentes regiões do país, o presente artigo analisa o potencial desta aplicação em relação ao suprimento de energia elétrica. Nas simulações foi utilizado o programa *EnergyPlus* para integrar a geração fotovoltaica com o desempenho energético da edificação. O modelo residencial considerado foi um protótipo de edificação multifamiliar representativo para a classe média brasileira, de acordo com dados do IBGE e do SINPHA. Nas simulações observou-se que a geração nas fachadas verticais é significativa mesmo em locais de baixa latitude. Constatou-se que existe um percentual importante de tempo em que a potência fornecida pelo sistema fotovoltaico é maior que a demanda elétrica da edificação. No caso da edificação em estudo este percentual fica acima de 30% das horas do ano. Neste período, o sistema fotovoltaico poderia fornecer o excedente da energia gerada para a rede elétrica pública.

Palavras-chave: Geração Fotovoltaica, Simulação Energética, Edificações Residenciais Brasileiras.

ABSTRACT

Brazil faces a continuous increase of energy demand and a decrease of available resources to expand the production system. Residential buildings are responsible for 21,9% of the national electric consumption. Thus, it is necessary to look up for new energy sources to be implemented in this sector. Building Integrated Photovoltaic (BIPV) is attaining importance worldwide and can be an interesting alternative for distributed energy generation in Brazil. This work analyses the potential of seven BIPV technologies implemented in a residential prototype simulated in three different cities (Natal, Brasilia and Florianópolis). Simulations were performed using *EnergyPlus* to integrate PV power supply with building energy consumption (domestic equipment and HVAC systems). The building model is a typical low-cost residential building for middle class families, as massively constructed all over the country. Architectural input and heat gain schedules are defined from statistical data (IBGE and SIMPHA). BIPV is considered in all opaque surfaces. PV power supply by vertical surfaces can be considerable, even for low latitudes sites. It was confirmed that in an important percentage of time the photovoltaic power supply is bigger than building electrical energy demand. In the case of the building analyzed, this percentage achieved above of 30% of hours of the year. During this period, photovoltaic system could be supplying the energy excess to public electrical grid.

Keywords: Photovoltaic generation, Building simulation, Brazilian residential buildings.

1 INTRODUÇÃO

Analisando o crescente aumento da demanda energética brasileira e a decrescente disponibilidade de recursos para ampliação do sistema de geração, faz-se necessária a busca por novas fontes de energia.

Marinoski *et al.*, 2004 realizaram um estudo preliminar de dimensionamento de sistema fotovoltaico no edifício do CREA-SC (Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Estado de Santa Catarina) localizado na cidade de Florianópolis, com a aplicação de painéis de silício policristalino na cobertura e fachadas, onde observou-se que em média até 51% do consumo de energia elétrica poderia ser suprido através da energia solar. Um outro estudo realizado para a cidade de Tokyo, Japão (Miyazaki *et al.*, 2005), mostrou que a economia de energia, utilizando módulos fotovoltaicos semi-transparentes aplicados à edificação com utilização nas janelas, foi de 54%, para as orientações adequadas, transmitância de 40% e WWR (percentual de área de janela na fachada, do inglês *Window to Wall Ratio*) de 50%.

O Brasil está localizado no hemisfério sul, e seu território se encontra em regiões de baixa latitude e altos níveis de radiação solar (Colle e Pereira, 1996), o que contribui para que uma maior quantidade de energia possa ser aproveitada em sistemas fotovoltaicos (Rüther, 2004). As edificações residenciais, comerciais e públicas juntas são responsáveis por 44,2% da energia elétrica consumida no país, sendo o setor residencial responsável por 21,9% e o setor comercial e público por 13,9% e 8,4%, respectivamente (BEN, 2004).

2 OBJETIVOS

Integrando os sistemas fotovoltaicos ao entorno construído de uma edificação hipotética de uso residencial, o presente artigo tem por objetivos, determinar o potencial desta aplicação em relação ao suprimento de energia elétrica das edificações e analisar o impacto da aplicação de sistemas fotovoltaico nas fachadas e em coberturas, sobre o consumo de energia elétrica de edificações residenciais brasileiras para diferentes condições climáticas e geográficas.

3 METODOLOGIA

3.1 Simulação termo-energética de edificações

Nas ultimas décadas os processos de simulação computacional têm alcançado grandes avanços, e diversos programas passaram a ser desenvolvidos tendo como alvo de estudo o desempenho energético das edificações.

Neste estudo foi utilizada como ferramenta de simulação, o programa *EnergyPlus*, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE). O programa possibilita análises de cargas térmicas e consumo de energia em sistemas de aquecimento e resfriamento, ventilação e iluminação (EERE, 2005). Para a integração do sistema fotovoltaico, foi utilizado o módulo “*Simple*” que possibilita a aplicação de diferentes tipos de tecnologias de painéis fotovoltaicos. Nele, todas as superfícies da edificação com radiação incidente consideram efeitos de sombreamentos e reflexões. O módulo permite definir o sistema fotovoltaico sem especificar o arranjo dos painéis, apenas a área das superfícies que é ocupada por eles. Este modelo é de fácil utilização nas fases de análise de projeto, permitindo estimar de modo rápido os níveis de geração de energia.

3.2 Protótipo de edificação

O modelo considerado foi um protótipo de edificação residencial multifamiliar representativo para a classe média brasileira. A planta, número de andares, materiais e cargas internas de calor, foram definidas de acordo com dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e do SINPHA (Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo). O protótipo representa 15% dos tipos de apartamentos residenciais utilizados pela classe média brasileira e apresenta um crescimento constante nas diferentes regiões brasileiras (Tavares, 2006).

O protótipo possui quatro andares, uma projeção horizontal de 16 x 19m, pé direito 2,8m e quatro apartamentos por andar. Cada apartamento tem uma sala (20m²), dois quartos (24m²) e uma área

comum (1 cozinha + 1 banheiro = 10m² + 5m²). O percentual de área de janela na fachada é de 18% para as salas e quartos.

Para diminuir a quantidade de tempo e recursos computacionais em cada simulação, o modelo arquitetônico da edificação foi transformado em um modelo de zonas térmicas. Esta adaptação foi realizada considerando os ambientes com a mesma temperatura de *setpoint*, calor gerado internamente, padrão de uso e orientação. Assim, cada andar foi dividido em cinco zonas térmicas: duas salas (*Salas*) de 80m² cada uma, dois quartos (*Qrt.*) de 96m² cada um e uma zona de serviços (*Com.*) de 132m². O espaço de corredor está incluído na zona térmica de serviços (Figura 1).

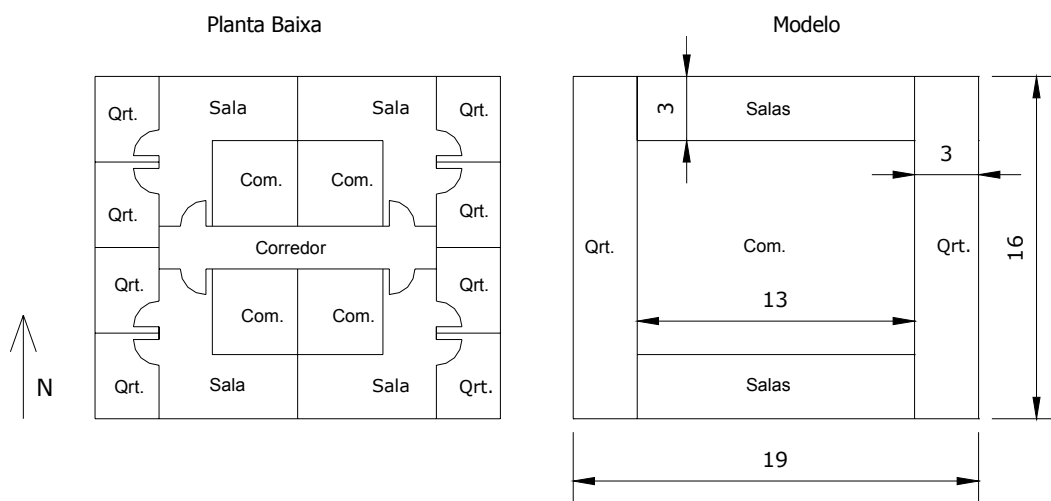


Figura 1- Planta arquitetônica e modelo de zonas térmicas para o protótipo residencial.

As propriedades termo físicas dos materiais usados na definição dos elementos construtivos (paredes, laje, cobertura e janelas), são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades termo físicas dos componentes usados no protótipo.

	Camadas	Espessura (mm)	Capacidade Térmica (kJ/m ² K)	Resistência Térmica (m ² K/W)
PAREDE	Argamassa	25	50,0	0,021
	Bloco concreto	190	176,4	0,178
	Argamassa	25	50,0	0,021
PISO	Argamassa	25	50,0	0,021
	Laje mista	95	95,0	0,090
	Argamassa	25	50,0	0,021
	Piso cerâmico	10	14,7	0,011
COBERTURA	Telha fibrocimento	7	11,2	0,007
	Câmara de ar	---	---	0,210
	Poliestireno expandido	50	1,8	1,250
	Forro madeira	10	13,8	0,071
JANELA	Vidro transparente	3	---	0,003

A ocupação de cada apartamento foi considerada desde o início da tarde até a madrugada, sendo que o primeiro período de ocupação ocorre na sala (14:00 - 22:00h), seguido do período nos quartos (22:00 - 7:00h). No período das 7:00 às 14:00h, a residência está desocupada. As temperaturas máximas e mínimas de *setpoint* (23 e 18°C) para o sistema de climatização, foram utilizadas exclusivamente nos períodos de ocupação.

A infiltração considerada foi de 1,5 trocas por hora, 24 horas durante todo o ano para os ambientes perimetrais, isto significa uma vazão de 0,046m³/h nas salas e 0,056m³/h nos quartos. A ventilação considerada é uma taxa constante de cinco trocas por hora, durante os períodos em que não há ocupação dos ambientes (0,152m³/h nas salas e 0,187m³/h quartos).

3.3 Tecnologias fotovoltaicas utilizadas no modelo

Para definição do valor da eficiência da célula fotovoltaica (EFF), que é um dos dados de entrada para a realização processo de simulação, foram selecionadas seis diferentes tecnologias de painéis fotovoltaicos (Tabela 2). A eficiência do painel representa o percentual máximo da energia total que atinge a superfície do modulo, na forma de radiação, que pode ser efetivamente convertida pelas células fotovoltaicas. O valor da eficiência é fornecido pelos fabricantes para uma condição padrão de teste (STC - *Standard Test Conditions*), onde a potência nominal dos módulos atinge o respectivo valor, quando submetido a uma radiação de 1000W/m² e a uma temperatura de 25°C. Os modelos de painéis escolhidos abrangem um intervalo cobrindo desde tecnologias consideradas de baixa eficiência, como é o caso a-Si (6,3 %), até tecnologias consideradas de alta eficiência como a HIT (17,0%), as quais podem ser integradas às edificações.

Tabela 2 – Características das tecnologias fotovoltaicas utilizadas sob condições padrão (STC)

Tecnologia	Fornecedor	Modelo	Potência (W)	Área (m ²)	EFF _{STC} (%)
m-Si	BP Solar	BP 5170 S	170	1,26	13,50
a-Si	Bekaert ECD Solar Sys.	Uni-Solar US-64	64	1,12	6,30
p-Si	BP Solar	BP 375 S	75	0,64	11,60
CdTe	First Solar	FS 50 D	50	0,72	6,90
CIS	Wurth Solar	WS 11007	60	0,73	8,20
HIT	Sanyo	HIP-200BA3	180	1,18	17,00

No entanto, na maioria das tecnologias, a eficiência da célula é dependente da sua temperatura de operação. Com exceção à tecnologia a-Si, todas as outras apresentadas possuem coeficientes de temperatura (TCO_{EFF}) negativos, ou seja, que reduzem o valor efetivo da eficiência do modulo. Considerando a temperatura de operação (NOCT – *Nominal Operating Cell Temperature*) de 45°C, juntamente com o valor da TCO_{EFF}, através da Equação 1, pode-se obter o valor da eficiência corrigida (EFF_{NOCT}), onde ΔT é a diferença de temperatura entre a condição padrão de teste (STC) e a temperatura de operação (NOCT) do módulo (Salamoni, 2004).

$$EFF_{NOCT} = EFF_{STC} \left\{ \left[100 - (|TCO_{EFF}| \times \Delta T) \right] / 100 \right\} \quad (1)$$

A Tabela 3 apresenta os valores de eficiência corrigidos (EFF_{NOCT}). Um fator de 0,8 foi adotado por representar 20% de perda de potência devido ao funcionamento do inversor de corrente, causada pela transformação elétrica e perdas eletrônicas associadas nos terminais, e perdas por queda de tensão por condução de corrente. Estes foram os dados de entrada para o cálculo da geração fotovoltaica através do processo de simulação proposto.

Tabela 3 – Eficiência corrigida para uma temperatura de operação de 45°C (NOCT).

Tecnologia	Dados do fornecedor		NOCT (°C)	EFF _{NOCT} (%)
	EFF _{STC} (%)	TCO _{EFF} (%)		
m-Si	13,50	-0,40 ⁽¹⁾	45	12,42
a-Si	6,30	0,00 ⁽¹⁾	45	6,30
p-Si	11,60	-0,40 ⁽²⁾	45	10,67
CdTe	6,90	-0,20 ⁽²⁾	45	6,62
CIS	8,20	-0,45 ⁽²⁾	45	7,46
HIT	17,00	-0,33 ⁽³⁾	45	15,88

(1) valor de eficiência (TCO_{EFF}) (Rüther *et al*, 2004)

(2) valor de eficiência (TCO_{EFF}) (Nann e Emery, 1992)

(3) valor de eficiência (TCO_{EFF}) (Sanyo, 2004)

Na montagem do modelo de simulação foi considerado que os módulos fotovoltaicos seriam aplicados em 95% de superfícies opacas da edificação (paredes e cobertura excluindo a área de janelas). Não foram levadas em consideração particularidades relativas à distribuição e instalação de cada tipo de tecnologia. As áreas correspondentes de aplicação dos módulos para a cobertura, fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste são 288,80m², 177,46m², 177,46m², 139,84m² e 139,84m² respectivamente.

3.4 Condições climáticas

As simulações foram desenvolvidas para três diferentes cidades brasileiras (Natal, Brasília e Florianópolis), selecionadas em função da posição geográfica e características climáticas.

Observa-se na Figura 2 que as três cidades estão localizadas em áreas com diferente distribuição de radiação solar média anual do total diário para o plano horizontal. Em Brasília a radiação global atinge um dos níveis mais elevados (6000Wh/m²). Natal apresenta uma faixa intermediária (5300-5500 Wh/m²). Florianópolis apresenta os menores valores observados, entre 4500-4700 Wh/m².

Na Figura 3 é possível analisar a variabilidade da radiação global incidente no plano horizontal. Natal encontra-se em uma área de maior estabilidade, estando o desvio percentual entre 5% e 10%. Em Brasília, este índice chega a 15%. Já Florianópolis está localizada em uma região com um dos maiores desvios percentuais do país, onde estes atingem a faixa de 25-30%.

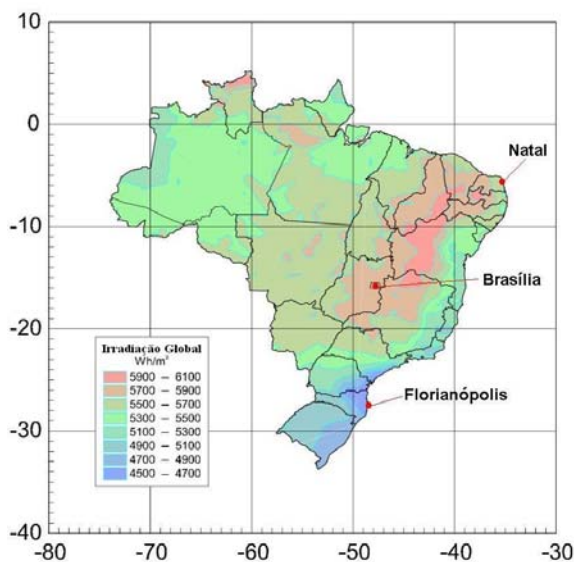


Figura 2 – Média anual para a radiação global diária incidente no plano horizontal (Colle e Pereira, 1996).

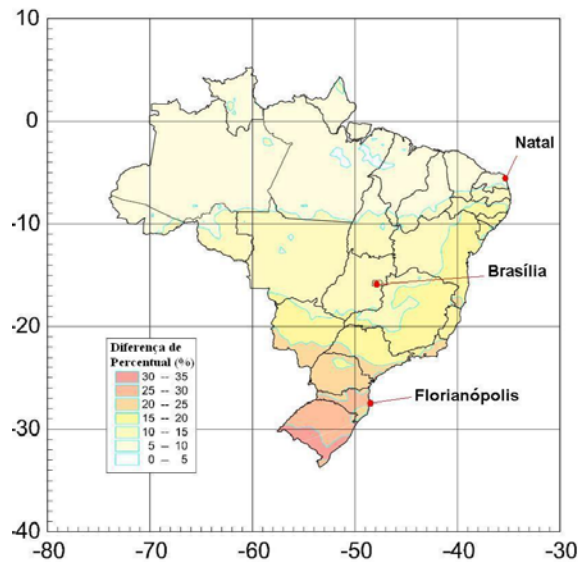


Figura 3 – Média anual para o desvio de radiação global no plano horizontal (Colle e Pereira, 1996).

Para o processo de simulação, foi utilizado um arquivo climático do tipo TRY (Test Reference Year) para cada uma das cidades. Estes arquivos são formados através de uma metodologia de eliminação de anos cujos dados contêm temperaturas médias mensais extremas. Assim, os arquivos utilizados correspondem aos anos de 1954 para Natal, 1962 para Brasília e 1963 para Florianópolis. Este arquivo apresenta dados de diferentes fatores ambientais locais (temperatura, umidade, radiação, velocidade do ar, cobertura de nuvens, etc) com ocorrência horária ao longo do ano (8760 horas).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Demanda de energia elétrica da edificação

Através do processo de simulação, observou-se que para as três cidades em estudo, as semanas de máxima demanda ocorrem nos meses de janeiro e fevereiro, período de verão no hemisfério sul. É também durante os meses de verão que se verificam os maiores níveis de radiação solar em cada uma das localidades.

Através da Figura 4 (que apresenta o caso de Florianópolis como exemplo) é possível realizar uma análise da demanda da edificação por metro quadrado da área projetada pela cobertura (densidade de potência), comparada à disponibilidade de radiação solar, durante a semana de máxima demanda (semana crítica). A curva mais escura (Rad Glb) representa a densidade de radiação global incidente no plano horizontal. Já a curva cinza (Total Edifc), logo abaixo, apresenta a demanda total de energia da edificação por metro quadrado, que é resultado da soma da carga de HVAC (condicionamento de ar) mais a carga com equipamentos. Ao longo desta semana, a carga com HVAC e equipamentos, representa em média, respectivamente 75% e 25% da demanda de energia da edificação para o caso de Natal, 55% e 45% para Brasília, e 73% e 27% para Florianópolis.

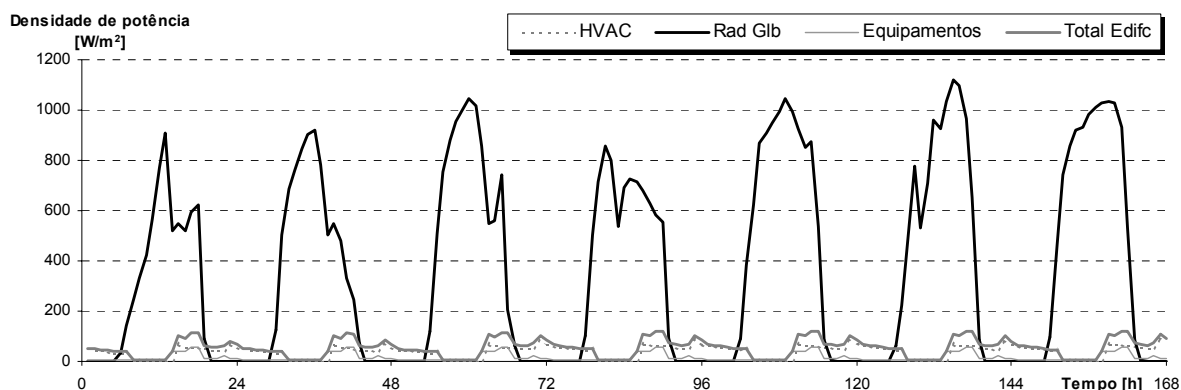


Figura 4 – Demanda energética da edificação e radiação solar para Florianópolis (01 a 07/Jan)

Comparando a curva da radiação solar (Rad Glb) com a demanda por metro quadrado (Total Edifc) durante a semana crítica, é possível notar que nos horários de pico de carga da edificação (17:00 ou 18:00 horas), ainda existe uma boa disponibilidade de radiação solar.

Através da integral da área abaixo das curvas de densidade de potência, é possível comparar em termos quantitativos a energia que é consumida pela edificação e também a energia solar incidente sobre o plano horizontal, ao longo de cada dia da semana crítica. Em média, a energia total utilizada pela edificação por metro quadrado, somada ao longo do dia, é aproximadamente sete vezes menor (14%) do que a energia solar disponível por metro quadrado (Tabela 4).

Tabela 4 – Demanda energética e radiação solar disponível para a semana crítica.

Cidade	Energia Solar (kWh/m ²)	Consumo da edificação (kWh/m ²)			Relação entre consumo total e radiação	Relação entre consumo diurno e radiação
		Total	Período diurno (7:00 - 18:00h)	Período noturno		
Natal	56,1	9,9	3,9	5,9	18%	7%
Brasília	59,1	5,4	2,7	2,7	9%	4%
Florianópolis	61,8	9,1	3,8	5,3	15%	6%
Média	59,0	8,1	3,4	4,6	14%	6%

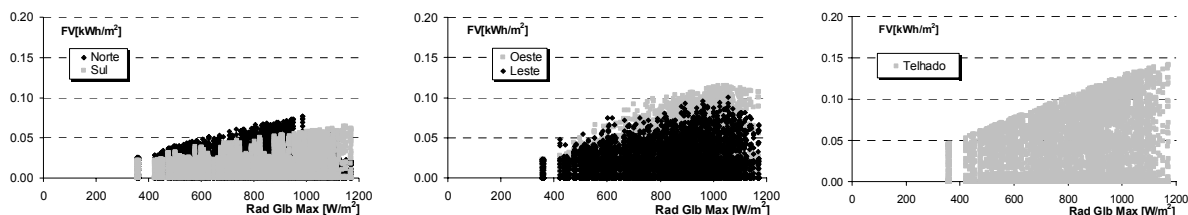
Sendo o Brasil um país de clima predominantemente tropical, pode-se dizer que de modo geral não ocorrem períodos de inverno tão rigorosos tais como em regiões de latitude mais elevada (acima de 40°). No entanto, foram analisadas simulações para estes períodos por apresentam menor nível de radiação solar disponível. Nestes resultados observa-se que a energia solar disponível decresce em média 62% em relação à energia solar disponível na semana de máxima demanda da edificação. Já a demanda total da edificação também é em média 59% menor do que quando comparada à demanda total da semana de crítica. Deste modo, verifica-se que mesmo no período com menor disponibilidade

de radiação, a demanda total da edificação atinge em média um valor por metro quadrado, aproximadamente seis vezes menor (15%) do que a densidade de energia solar para o mesmo período.

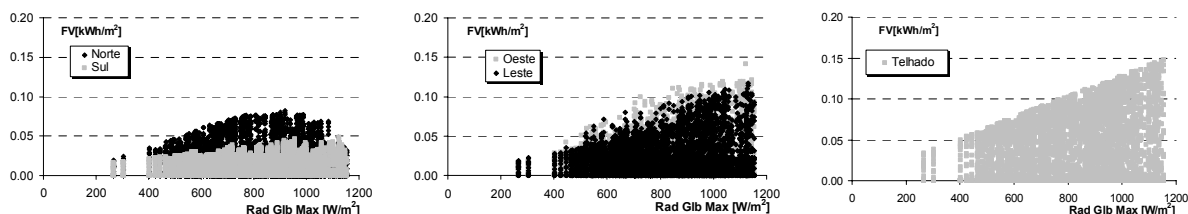
4.2 Geração fotovoltaica

A Figura 5 mostra a densidade de energia gerada pelo sistema fotovoltaico composto por módulos do tipo HIT (mais eficiente) em cada cidade ao longo do ano para cada fachada e cobertura. No eixo das abscissas encontra-se a radiação global horizontal máxima (Rad Glb Max) registrada para cada dia (W/m^2), e no eixo das ordenadas é apresentada a geração fotovoltaica (FV) por área de fachada (kWh/m^2).

Natal



Brasília



Florianópolis

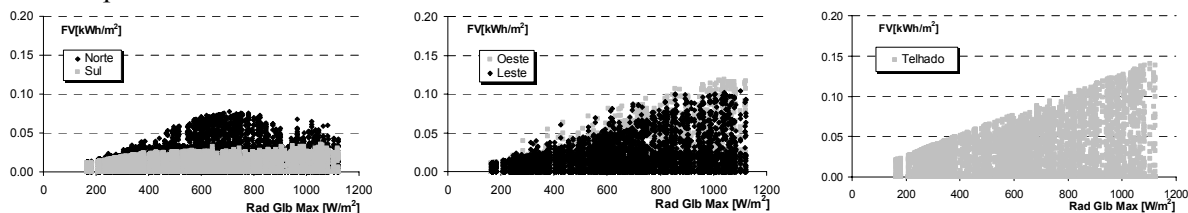


Figura 5 – Energia gerada por superfície para cada hora do ano em Natal, Brasília e Florianópolis.

No caso da orientação norte e sul das duas cidades com maior latitude (Brasília e Florianópolis), observa-se um comportamento diferente na geração das duas fachadas, porque a fachada norte recebe mais radiação solar ao longo do ano do que a fachada sul. Nos dias de menores níveis de radiação solar, ambas as fachadas apresentam uma geração semelhante. Porém, para situações de radiação maior que $400 W/m^2$ (no plano horizontal) a fachada norte gera mais energia, atingindo seu pico em dias de radiação máxima no plano horizontal em um nível intermediário ($600-800 W/m^2$ para Florianópolis, $800-1000 W/m^2$ para Brasília), isto é, no período de inverno quando o sol encontra-se em uma altura menor e mantém uma trajetória diária orientada para o norte. Já no caso de Natal as fachadas norte e sul apresentam um desempenho similar que segue a radiação solar disponível.

No caso das fachadas leste e oeste não existe grande diferença de geração entre elas para Brasília e Florianópolis (geração da fachada oeste é no máximo 1,4% maior do que a da fachada leste). Observa-se um aumento proporcional da geração com a máxima radiação global horizontal diária recebida. Na cidade de Natal, a fachada oeste apresenta uma geração significativamente superior à fachada leste (em média 18% maior), isto é explicado por diferenças nos valores horários de cobertura de nuvens entre o período da manhã apresentados no arquivo climático.

4.3 Consumo versus geração fotovoltaica

A Figura 6 apresenta a relação entre a demanda da edificação (kW) e a potência fornecida pelo sistema fotovoltaico (kW) para as 8760 horas do ano (apenas para as tecnologias a-Si e HIT). Observa-se uma nuvem de pontos com potência disponível inclusive para as horas de maior demanda. O caso mais desfavorável seria a situação de maior demanda de ar condicionado à noite (sem geração fotovoltaica), isto é o ponto de máxima demanda localizado no eixo das abscissas e o caso mais favorável seria a situação em que a demanda é mínima e a geração máxima. Observa-se nos seis gráficos que a situação favorável apresenta um excedente de potência maior que a potência demandada da rede elétrica no caso mais desfavorável.

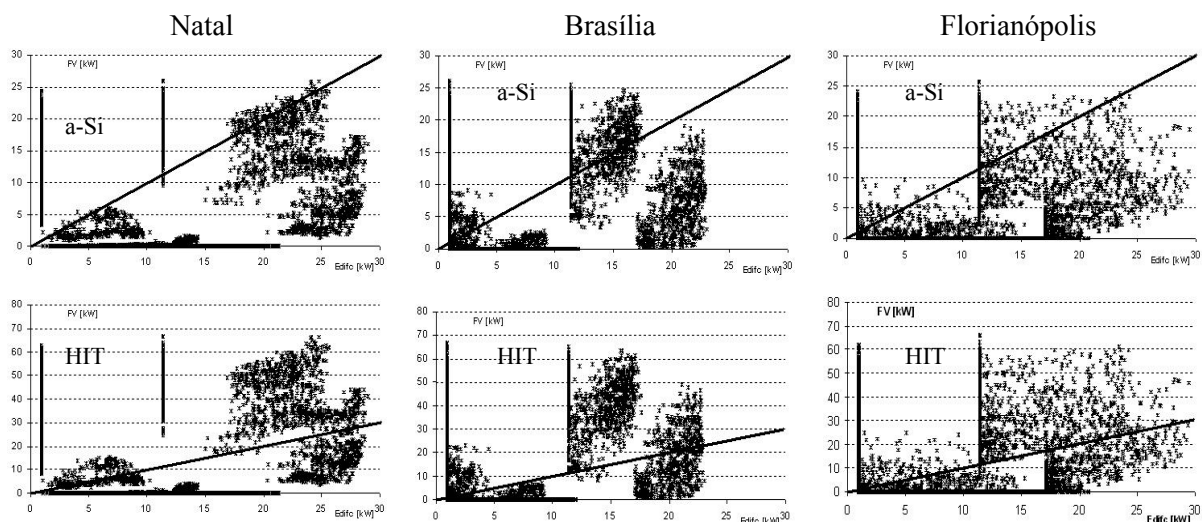


Figura 6 – Demanda energética e potência fornecida pelo sistema FV para cada hora do ano.

Traçando uma reta 1:1 observa-se uma quantidade considerável de pontos acima da reta, isto significa que existe um número importante de horas em que a potência fornecida pelo sistema fotovoltaico é maior que a demanda elétrica da edificação.

A Tabela 5 resume a percentagem de horas por ano em que a edificação poderia estar injetando energia na rede elétrica pública. No caso da edificação em estudo este percentual fica acima de 30% das horas do ano fornecendo o excedente de energia elétrica para a rede.

Tabela 5 – Percentual de horas em que o sistema fotovoltaico fornece energia à rede elétrica.

Cidade	a-Si (%)	HIT (%)
Natal	30,4	42,2
Brasília	36,8	44,9
Florianópolis	30,9	42,2

A Figura 7 mostra os valores absolutos de geração anual por área projetada de fachada e cobertura (densidade de geração) para as tecnologias a-Si e HIT. Estes valores permitem uma análise independente das dimensões da edificação.

Em todas as cidades a maior densidade de geração provém da cobertura, mas as fachadas também apresentam valores significativos. Para Florianópolis, nota-se que a densidade de geração da fachada norte chega a 60% do valor para a cobertura, e que as fachadas leste e oeste também apresentam índices de aproximadamente 56% do valor da densidade geração pela cobertura.

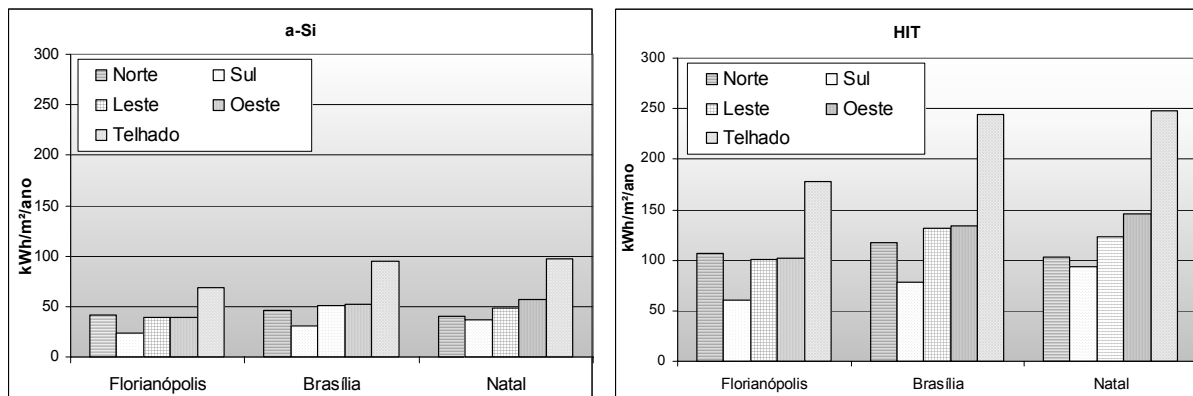


Figura 7 – Densidade de geração fotovoltaica para cada superfície.

Em Brasília, encontra-se uma situação aonde as fachadas oeste e leste chegam em média a 54% do valor para da densidade de geração da cobertura. Neste caso, o resultado da densidade de geração da fachada norte chega a 48% do valor observado para a cobertura.

Para Natal, é possível notar um comportamento diferenciado das demais cidades, onde a fachada oeste se destaca com a maior densidade de geração entre as fachadas verticais, chegando a 59% do valor observado para a cobertura. Já os valores de densidade de geração da fachada norte e leste chegam respectivamente a 42% e 50% do valor observado para a cobertura. Esta maior geração atribuída à fachada oeste está associada diretamente a uma característica climática local, onde a maior disponibilidade de radiação global ocorre no período vespertino, devido ao maior índice de cobertura de nuvens durante as manhãs.

É comum a todas as cidades o fato da densidade de geração por metro quadrado na fachada sul estar abaixo dos valores das demais superfícies, chegando a aproximadamente a um terço da densidade de geração da cobertura.

5 CONCLUSÕES

Embora o uso de sistemas fotovoltaicos integrados à edificação (em inglês BIPV, *Building Integrated Photovoltaic*) ainda esteja em fase inicial no Brasil, este tipo de estudo representa um incentivo para continuidade de pesquisas e desenvolvimento de novas aplicações.

O programa *EnergyPlus* é uma ferramenta útil para análise da utilização de sistemas BIPV, permitindo uma integração com simulação termo-energética de sistemas de ar-condicionado.

Apesar de existir uma diversidade de tipologias arquitetônicas no país, procurou-se simplificar o protótipo modelado realçando as principais características das edificações residenciais brasileiras. De maneira análoga, utilizou-se uma aproximação para o padrão de uso da edificação. Ainda em relação à aplicação de diferentes tecnologias fotovoltaicas, cabe lembrar que o Brasil um país com clima tropical predominante, onde se torna muito importante considerar a redução da eficiência dos módulos devido à elevação de temperatura de operação.

Através das simulações foi possível observar que nas três cidades analisadas existe um grande potencial em termos de disponibilidade de radiação solar. Mesmo em condições desfavoráveis (semana crítica ou semana de menor disponibilidade de radiação) a demanda por metro quadrado da edificação analisada é bastante inferior à energia solar disponível. Com uma distribuição horária anual constante da densidade de potência, verificou-se que a média da demanda da edificação ficaria em um intervalo de aproximadamente 6 a 10 kWh/m², enquanto o nível de radiação solar global horizontal estaria entre aproximadamente 195 e 268 kWh/m².

Também em outra análise horária, constatou-se que existe um percentual importante de tempo em que a potência fornecida pelo sistema fotovoltaico é maior que a demanda elétrica da edificação. No caso da edificação em estudo este percentual fica acima de 30% das horas do ano em todas as cidades

analisadas. Neste período o sistema fotovoltaico poderia fornecer o excedente da energia gerada para a rede elétrica pública.

A aplicação de modelos nas fachadas também mostrou ter um potencial significativo de geração mesmo em locais de baixa latitude. Em alguns casos, características climáticas locais podem alterar o perfil normal da distribuição de geração, aumentando ou reduzindo a contribuição de uma superfície voltada para determinada orientação.

REFERÊNCIAS

COLLE, S.; PEREIRA, E. B. **Atlas de Irradiação Solar do Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR-INMET 1996.

EERE. **Energy Efficiency and Renewable Energy**. Disponível em: <<http://www.EnergyPlus>>. Acesso em: Junho de 2005.

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. **Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso de edifício sede do CREA-SC.**: Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. São Paulo, Brasil, 2004.

MIYAZAKI, T.; AKISAWA, A.; KASHIWAGI, T. Energy savings of office buildings by the use of semi-transparent solar cells for windows. **Renewable Energy**, v.30, p.281-304, 2005.

MME- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: Setembro de 2005.

NANN, S.; EMERY, K. Spectral Effects on PV - Device Rating. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v.27, p.189-216, 1992.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligadas à Rede Elétrica Pública**: Editora da UFSC. LABSOLAR. Florianópolis, 2004.

RÜTHER, R.; et al. **Performance Results of the First Grid Connected, Thin Film PV Installation in Brazil: High Performance Ratios Over Six Years of Continuous Operation**. 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference. Paris, France, 2004.

SALAMONI, I. T. **Metodologia para Cálculo de Geração Fotovoltaica em Áreas Urbanas Aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte**. Dissertação de mestrado, 2004. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC

SANYO. **SANYO SOLAR ARK**. Disponível em: <<http://www.sanyo.com/industrial/solar>>. Acesso em: Fevereiro de 2004.

TAVARES, S.F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese de doutorado, 2006. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro durante o período de desenvolvimento deste trabalho.