

## METODOLOGIA PARA CÁLCULO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM ÁREAS URBANAS

Isabel SALAMONI , Paulo KNOB , Ricardo RÜTHER

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações  
Departamento de Engenharia Civil / Universidade Federal de Santa Catarina  
P.O. BOX 476 Florianópolis – SC / 88040-900 Brazil  
Tel.: +55 48 331 5184, FAX: +55 48 3315191  
Email: [isamoni@labeee.ufsc.br](mailto:isamoni@labeee.ufsc.br)  
[knob@labeee.ufsc.br](mailto:knob@labeee.ufsc.br)  
[ecv1rrr@ecv.ufsc.br](mailto:ecv1rrr@ecv.ufsc.br)

### RESUMO

A presente pesquisa objetiva desenvolver uma metodologia para analisar o potencial dos setores de uma cidade, para a utilização do sistema solar fotovoltaico integrado à edificação e interligado à rede elétrica pública. Este estudo será realizado através de um confronto entre os dados de geração fotovoltaica, os dados de consumo energético com a utilização da geração convencional, nos setores escolhidos, e as áreas de cobertura disponíveis no envelope das edificações para a integração de sistemas solares fotovoltaicos. Assim, possibilitará a verificação de quanto da demanda energética, nas áreas estudadas, poderá ser suprida através da geração fotovoltaica. O Brasil, hoje em dia, vem sofrendo sérios problemas com relação a questões energéticas, devido às baixas tarifas praticadas pelas concessionárias e a falta de matéria prima para geração, uma vez que em torno de 90 % da energia elétrica gerada é hídrica. Aumentar a eficiência energética é uma estratégia para solucionar alguns problemas enfrentados pelas concessionárias, pois de uma forma geral, é quase sempre mais barato economizar um kWh do que gerar um kWh. O sistema de geração fotovoltaica, integrado à edificação e interligado à rede elétrica pública, tem como objetivo gerar energia elétrica próxima ao ponto de consumo, a partir de uma fonte renovável e inesgotável de energia, o sol. Pode contribuir para aumentar a capacidade elétrica da rede elétrica local, além de evitar as perdas por transmissão e distribuição, ocasionadas na geração convencional.

### ABSTRACT

The aim of this research is to develop a methodology to analyze the potential of the sectors in a city, for the use of the building-integrated photovoltaic solar systems connected to the public grid. This study is being carried through a confrontation among the data of photovoltaic generation, the data of energy consumption with the use of conventional generation, in the chosen sectors, and the available areas in the building envelope for the integration of photovoltaic solar systems. Thus, it will be possible to verify how much of energy demand, in the verified areas, can be supplied through the photovoltaic generation. Brazil, has been suffering serious problems about energy subjects, as a consequence of low tariffs practiced by energy utilities and the deficiency of raw material for generation, some 90 % of generated electricity come from hydroelectric power. Increasing the energy efficiency is a strategy to solve some problems faced by the energy utilities, because to save energy is cheaper than to generate it. The photovoltaic system generation, integrated to the building and to the

public grid, aims to generate electric energy next to the point to consumption, from a renewable and inexhaustible source of energy, the sun. It can contribute to increase the electrical capacity of local grid, besides preventing the losses from transmission and distribution, as observed in conventional systems.

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda mundial de energia vem crescendo continuamente. Em parte, isto acontece porque as populações e suas necessidades vêm crescendo e mais indústrias, serviços e empregos são gerados. Além destes fatores, uma parcela é gerada pelo desperdício de energia. Este crescimento da demanda de energia em curto prazo gerou a necessidade de medidas de racionamento em todo o país.

Dados do MME (2001) revelam que este aumento no uso de energia também se deve ao fato de que o preço das tarifas de energia elétrica nos últimos anos permaneceu estagnado ou em baixa. Isso gerou um aumento na utilização de eletrodomésticos pelas famílias. Devido a estes fatores, aumentar a eficiência energética é uma estratégia para solucionar alguns problemas enfrentados pelas concessionárias. Avanços na ciência e tecnologias têm provido várias alternativas de produção de energia a um nível sustentável.

Borenstein e Camargo (1997) ainda complementam que no Brasil, além das dificuldades enfrentadas para financiar novos empreendimentos no setor de energia elétrica, os crescentes movimentos sociais e ecológicos contra a construção de grandes obras de geração e transmissão de energia elétrica tornam claro que a qualidade no suprimento de energia elétrica vem se deteriorando paulatinamente.

Segundo a ELETROBRAS/PROCEL, através do acordo firmado entre diversos países, com o objetivo de promover o uso racional de energia com a utilização de fontes alternativas, centenas de milhões de dólares estão sendo gastos em programas de pesquisa e desenvolvimento, nos países industrializados. Embora as fontes renováveis ofereçam benefícios ambientais comparados a combustíveis fósseis, o custo de geração ainda permanece mais caro. Estes custos têm diminuído, e é provável que diminuam ainda mais; porém, a implementação destas fontes poderia ser mais acelerada se os governos de todos os países investissem mais nesses programas de pesquisa e desenvolvimento. Assim, gerações futuras poderiam obter benefícios através da utilização de uma energia limpa e sustentável, de forma a contribuir com a preservação do meio ambiente.

O sistema fotovoltaico, além de causar menor dano ambiental, permite a sua utilização em pequena escala e ainda pode ser instalado próximo ao ponto de consumo, de forma distribuída, minimizando as perdas que ocorrem na geração centralizada. Uma vez que a geração convencional é centralizada e distante do ponto de consumo, faz com que o sistema gere perdas na transmissão e distribuição, aumentando os custos da produção da energia e causando danos às concessionárias e ao meio ambiente.

A geração solar fotovoltaica atinge valores máximos, principalmente em períodos de calor intenso, onde a demanda energética em edificações aumenta de forma acentuada em consequência da utilização intensa de aparelhos de ar-condicionado, devido ao fato de que nestes horários, há uma maior incidência solar. Desta forma, alivia o sistema de T & D (transmissão e distribuição) da concessionária de energia elétrica.

Conhecendo a capacidade que uma planta fotovoltaica tem de gerar energia, esta pode não apenas servir como uma fonte geradora de energia, mas principalmente como uma planta que aumenta a capacidade da rede elétrica local, diminuindo a dependência das fontes convencionais de geração e auxiliando na redução da curva de pico em determinadas regiões.

O custo da energia fotovoltaica ainda é muito elevado, não sendo competitivo com a geração convencional, devido ao custo do capital individual, que inicialmente é muito alto. Entretanto, existem casos onde o sistema fotovoltaico integrado à edificação e interligado à rede elétrica pública, não só pode tornar-se competitivo, como pode representar uma alternativa mais econômica.

A produção anual fotovoltaica vem crescendo cerca de 18 a 20% por ano, nas próximas décadas, e aproximadamente 40% ao ano nos últimos anos, devido às inúmeras possibilidades de aplicação. Calcula-se que com o declínio dos preços e os novos mercados, este índice passará para 20 a 30% nas próximas décadas. Com essa produção em grande escala, os sistemas integrados poderão cair para US

\$1/Wp (LIN, 2000). Em 2002, esta produção chegou a 512.22 MW, tendo um crescimento de 31 % com relação ao ano de 2001 ( PV NEWS, 2003).

A presente pesquisa tem por finalidade verificar o potencial de geração fotovoltaica, considerando que toda a área útil das coberturas das edificações dos setores estudados seja coberta por painéis solares fotovoltaicos. Além de avaliar a relação entre a energia gerada e o consumo (kWh/ano), será feita uma análise comparativa entre a curva de demanda e a curva de geração solar para os dias de maior consumo. Com base nessa análise é possível quantificar o valor da contribuição da geração fotovoltaica na redução do pico de demanda e os melhores alimentadores para receberem esta contribuição.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Setores estudados

Foram estudados dois bairros da cidade de Florianópolis, tomados como amostras. Estes, com características distintas, tanto de caráter construtivo quanto ao uso e consumo energético. Um setor corresponde a uma área bem residencial e horizontal, portanto com uma grande área de cobertura disponível. O outro, corresponde a uma área central, bastante vertical e com uma área bem restrita de cobertura. No setor central foi estudada uma amostra referente a uma área comercial da cidade e no setor residencial foi estudada toda a área da praia de Jurerê.

Primeiramente, foram verificados os consumos de energia totais de cada setor, através de dados fornecidos pela CELESC, dos alimentadores correspondentes. Estes alimentadores correspondem ao ICO 07, referente à área central e ao INE 02, referente à área residencial.

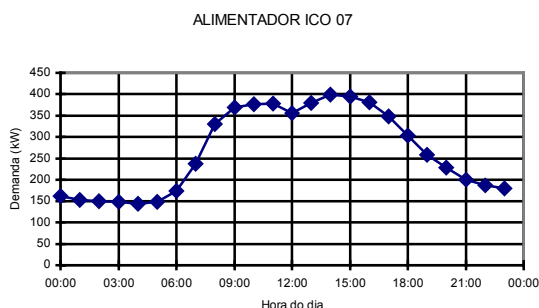
De acordo com a tabela 1 é possível verificar que os valores de consumo de energia diferem significativamente entre si, devido ao fato de que o setor residencial não possui muitos moradores durante o ano, fazendo com que seu consumo ocorra, na maior parte, nos meses de Dezembro a Março. O alimentador correspondente ao setor centro possui um consumo maior, e praticamente constante, devido ao fato de que nesta área existem muitos prédios comerciais, com grande consumo de aparelhos de ar condicionado e das edificações estarem ocupadas durante todos os meses do ano.

**Tabela 1: Valores de consumo de energia elétrica**

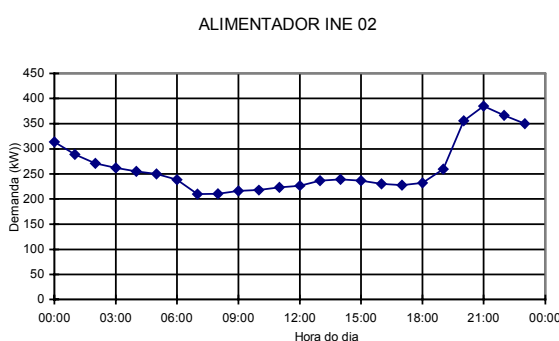
ALIMENTADOR ICO 07			ALIMENTADOR INE 02		
MÊS	Ampère-hora/mês	MWh/mês	MÊS	Ampère-hora/mês	MWh/mês
2000 – agosto	95.880,00	2.291,75	2000 – agosto	76.695,00	1.833,18
2000 – setembro	91.829,00	2.194,92	2000 – setembro	76.239,00	1.822,28
2000 – outubro	98.316,00	2.349,97	2000 – outubro	84.555,00	2.021,05
2000 – novembro	85.880,00	2.052,72	2000 – novembro	72.977,00	1.744,31
2000 – dezembro	121.408,00	2.901,93	2000 – dezembro	116.743,00	2.790,42
2001 – janeiro	128.935,00	3.081,84	2001 – janeiro	170.415,00	4.073,31
2001 – fevereiro	122.745,00	2.933,88	2001 – fevereiro	141.915,00	3.392,09
2001 – março	133.594,00	3.193,20	2001 – março	103.963,00	2.484,95
2001 – abril	107.269,00	2.563,97	2001 – abril	85.241,00	2.037,45
2001 – maio	88.708,00	2.120,32	2001 – maio	70.529,00	1.685,80
2001 – junho	73.677,00	1.761,04	2001 – junho	51.218,00	1.224,22
2001 – julho	86.099,00	2.057,96	2001 – julho	(*) 122,00	2,91
2001 – agosto	44.922,00	1.073,73	2001 – agosto	(*) 32.561,00	778,28
2001 - setembro	71.448,00	1.707,77	2001 – setembro	64.295,00	1.536,79
2001 - outubro	79.559,00	1.998,55	2001 – outubro	57.807,00	1.381,72
2001 - novembro	84.442,00	2.018,35	2001 – novembro	49.041,00	1.172,19
2001 - dezembro	106.222,00	2.538,95	2001 – dezembro	83.329,00	1.991,75
2002 – janeiro	123.888,00	2.961,20	2002 – janeiro	123.038,00	2.940,89
2002 - fevereiro	109.879,00	2.626,36	2002 – fevereiro	101.636,00	2.429,33
2002 – março	145.859,00	3.486,36	2002 – março	98.573,00	2.356,12
2002 – abril	118.011,00	2.820,73	2002 – abril	76.448,00	1.827,28

(\*) Nos meses de julho e agosto de 2001 existem vários dias sem registros de dados. Sendo assim, os valores apresentados na Tabela 1 acima para esses meses serão ignorados.

Após esta verificação, foram analisadas as curvas de consumo referentes a cada alimentador e observados seus picos.

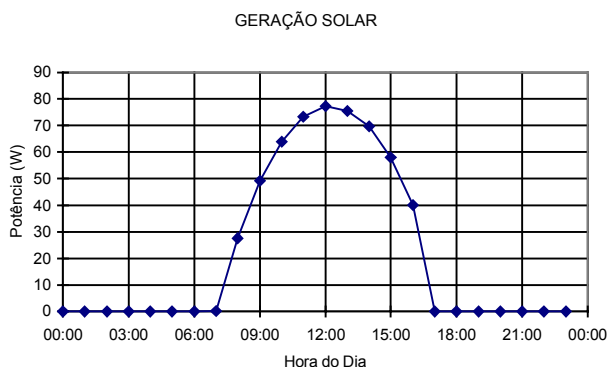


**Figura 1: Curva de demanda da região central para dia de maior pico (dia 09/03/02).**



**Figura 2: Curva de demanda da região residencial para dia de maior pico (dia 18/01/01).**

Analisando a figura 3, é possível observar os horários de maior incidência solar e, conseqüentemente, maior geração de energia.



**Figura 3: Curva de geração solar para um dia limpo.**

Observando a figura 1, Constatou-se que o alimentador correspondente à área central, possui um pico diurno. Este pico vai das 9 horas da manhã às 17 horas da tarde, diminuindo ao meio dia, horário correspondente ao almoço onde, possivelmente, os aparelhos de ar condicionado são desligados, e atingindo seu valor máximo por volta das 14 horas, horário em que se retomam as atividades no setor comercial. Estes gráficos foram obtidos para os dias de maior consumo correspondente de cada setor.

A figura 2 mostra a curva de pico do alimentador residencial. Pôde-se observar que este setor possui seu pico noturno, atingindo seu valor máximo por volta das 21 horas. Este horário de pico se justifica por ser um setor residencial e localizado na praia. Durante o dia, os consumidores permanecem a maior parte do tempo fora das residências, retornando à noite, provável horário de banho. Este pico atinge valor máximo durante esta atividade, devido ao fato de que o chuveiro elétrico é responsável pela maior parcela do consumo de energia elétrica de uma edificação. O aquecimento solar de água vem sendo estudado como uma alternativa importante para a redução deste pico.

Em cada setor foram calculadas as áreas totais de cobertura para a implementação do sistema fotovoltaico. Neste primeiro estudo, foram consideradas as coberturas como horizontais, com toda a área útil e desconsideradas as questões de sombreamento e inclinação. Este primeiro estudo tem como objetivo a obtenção de uma idéia global do potencial de geração fotovoltaica de cada setor, uma vez que só se dispõe das plantas de cobertura dos setores e que ainda não foi feito o estudo do percentual de inclinações e de sombreamento.

## 2.2 CÁLCULO DE RADIAÇÃO E GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Para calcular a quantidade de radiação incidente em uma superfície, foi utilizado o programa RADIASOL, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e disponível na página [www.ufrgs.br](http://www.ufrgs.br). Os valores de irradiação obtidos através do programa, são valores médios mensais em kWh/m<sup>2</sup>/dia. Calculados a partir do banco de dados de radiação solar disponibilizado pelo LABSOLAR (Laboratório de energia solar da Universidade Federal de Santa Catarina).

A potência instalada no sistema  $P_{CC}$  (em kWp) será obtida em função da área de cobertura disponível  $A_{disponível}$  (em m<sup>2</sup>).

$$P_{CC} = A_{disponível} * Eff / 100 \quad [Eq.1]$$

Onde, Eff corresponde à eficiência do painel (em %).

A quantidade de energia fotovoltaica gerada pelo sistema será obtida em função da potência instalada, da eficiência do sistema inversor e da irradiação incidente no plano do painel.

$$E = n_{el} * P_{CC} * G_{POA} \quad [Eq2]$$

Onde,  $n_{el}$  corresponde à eficiência do sistema inversor, com valor tipicamente 90%,  $P_{CC}$  à potência instalada e  $G_{POA}$  (em kWh/m<sup>2</sup>/dia) a quantidade de radiação incidente no plano do painel.

## 2.3 INCLINAÇÃO E ORIENTAÇÃO

Quantificadas as áreas de cobertura em cada setor, foi calculada a quantidade de energia gerada pelos sistemas. Esse cálculo se deu da seguinte forma:

Através dos dados de radiação global horizontal, fornecidas pelo LABSOLAR, foram obtidas as quantidades de radiação diária, mensal e anual para a cidade de Florianópolis, desconsiderando a inclinação dos telhados. Foram utilizados os dados de irradiação global horizontal, pois primeiramente o estudo de geração de energia foi feito considerando o ângulo de inclinação dos painéis de zero grau e, conseqüentemente, desvio azimutal também zero.

Obtidos os valores de geração fotovoltaica para inclinação de zero grau, serão estudados mais dois casos: coberturas com inclinação e orientação ideais, ou seja, inclinadas a 27 graus e voltadas para norte; e coberturas com as inclinações e orientações reais. Os cálculos de geração de energia para os valores reais serão feitos com os percentuais de inclinação e orientação encontrados nas amostras, realizadas através de métodos estatísticos.

Para estes dois casos, os dados de irradiação utilizados para o cálculo de geração de energia serão os de irradiação no plano inclinado do painel. Para a obtenção destes valores, será utilizado o programa RADIASOL. O estudo realizado nos três casos tem com o objetivo verificar se existe uma variação de geração muito grande entre os casos observados.

Se os valores encontrados diferirem muito entre si, o cálculo de geração fotovoltaica será realizado utilizando o caso real, com valores obtidos através da amostra.

A necessidade desses três estudos se deve ao fato de que a cidade de Florianópolis não possui um banco de dados referente às plantas de cobertura dos setores, fazendo com que seja gerado um certo grau de imprecisão ao serem calculadas as áreas manualmente.

### 3. RESULTADOS OBTIDOS

Confrontando os valores de consumo de energia e geração fotovoltaica nos determinados setores, pode-se verificar de que forma o sistema poderá contribuir com a rede elétrica pública.

A figura 4 mostra os dados de geração fotovoltaica e consumo de energia elétrica no alimentador ICO 07, correspondente à área central.

A curva superior refere-se ao consumo de energia no setor, a inferior corresponde à geração fotovoltaica e a intermediária representa o consumo com geração fotovoltaica, ou seja, a diferença entre consumo e geração.

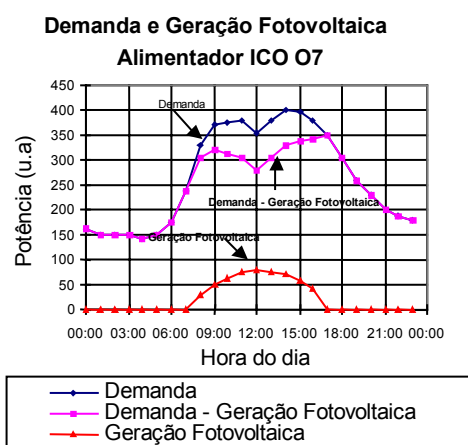


Figura 4: Curvas de demanda, geração solar e demanda menos geração no alimentador central.

Pôde-se constatar que a curva de pico diminui significativamente quando a geração fotovoltaica auxilia a rede elétrica convencional. Essa diminuição se deve ao fato de que os horários de pico coincidem com os horários de geração fotovoltaica nas áreas comerciais.

Portanto, por mais que a geração fotovoltaica nesta área central, utilizando toda a cobertura disponível nas edificações, não supra a demanda total do setor, ela poderá contribuir significativamente para a redução do pico de carga, trazendo grandes benefícios à concessionária, tanto energéticos quanto econômicos, podendo vir a ser uma importante ferramenta no GLD (gerenciamento pelo lado da demanda).

A figura 5 mostra os dados de geração fotovoltaica e consumo de energia no setor INE 02, correspondente à área de Jurerê.

Pôde-se observar que o pico do setor Jurerê não coincide com o de geração fotovoltaica. O pico máximo deste setor ocorre à noite, por volta das 21 horas, enquanto que o pico de geração ocorre durante o dia.

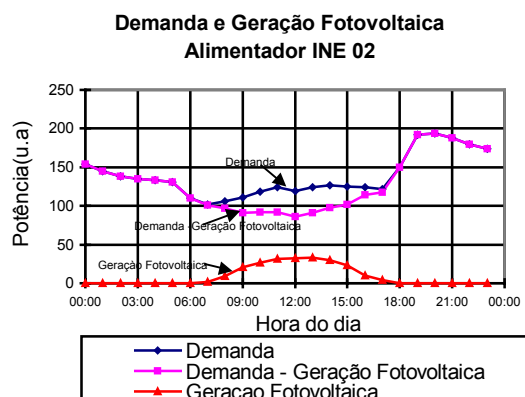


Figura 5: Curvas de demanda, geração solar e demanda menos geração no alimentador residencial.

O setor Jurerê, por ter uma grande área de cobertura disponível conseguiu gerar mais energia do que seu consumo, mas como se pode observar na curva, o sistema neste setor, não poderá contribuir para a redução do pico de consumo, mas poderá auxiliar na redução de outras áreas adjacentes, onde o pico coincida com a geração, como é o caso da região central da cidade, mostrada no exemplo anterior. Neste caso poderá funcionar como uma mini usina geradora de energia.

Estes resultados foram obtidos mesmo com a utilização de painéis fotovoltaicos baseados em filmes finos de silício amorfo, que representam uma das tecnologias menos eficientes do mercado fotovoltaico e que, portanto, ocupa maior área. No caso da utilização de painéis baseados em silício cristalino, esta geração seria dobrada, pois esta tecnologia possui uma eficiência duas vezes maior do que a dos filmes finos.

#### 4. CONCLUSÃO

Conclui-se com a presente pesquisa que a geração solar fotovoltaica integrada à edificação e interligada à rede elétrica pública traz inúmeros benefícios à concessionária, tanto de caráter energético quanto financeiro. Pelo fato de o sistema ser instalado próximo ao ponto de consumo, as perdas por transmissão e distribuição ocorrentes na geração centralizada convencional são eliminadas, fazendo com que aumente a eficiência energética da concessionária.

Os estudos realizados em dois setores distintos da cidade de Florianópolis mostram dois casos de potencialidades de geração. O setor central da cidade mostrou ter uma área de cobertura bem restrita para a implementação do sistema de geração, mas por ter picos de geração fotovoltaica e de consumo energético coincidentes, qualquer geração neste setor, por mais que não consiga suprir a demanda total, irá trazer benefícios significativos à rede, pois estará ajudando a diminuir a sobrecarga da rede local num horário crítico que corresponde ao horário de pico.

O setor referente à área residencial mostrou possuir uma grande área de cobertura disponível para a geração fotovoltaica, mas como seus picos de consumo energético e geração não são coincidentes, a energia fotovoltaica interligada neste alimentador não iria trazer benefícios de alívio de carga à rede, pois não estaria auxiliando na redução do pico de demanda. Este setor, no entanto, poderia servir como uma mini usina geradora de energia, que estaria auxiliando na sobrecarga da rede em outra área adjacente, que possua pico diurno.

#### REFERÊNCIAS

BORENSTEIN, C. R.; CAMARGO, C. de B. **O setor elétrico no Brasil: dos desafios do passado às alternativas do futuro.** Porto Alegre, ABDR, 1997.

ELETROBRÁS; PROCEL. **Conservação de energia: Eficiência energética de instalações e equipamentos.** Itajubá, MG, Editora da EFEI, 2001.

LIN, G. **Photovoltaic in the year 2025.** Hydrogen Energy, n. 25, p. 807-811, 2000.

MME – Ministério de Minas de Energia – **Balanco Energético Nacional: Sinopse 2001.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/ben2002/>>

PV NEWS. **Photovoltaic News.** PV energy systems, vol 22, n.3.