

ESTUDO DO POTENCIAL FOTOVOLTAICO EM REGIÕES COM PICO DE DEMANDA DIURNO NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS

Carolina da Silva Jardim, Paulo Knob, Ricardo Rütther
Universidade Federal de Santa de Catarina - UFSC
LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
Departamento de Engenharia Civil
P.O. BOX 476 Florianópolis – SC / 88040-900 Brasil
Tel.: +55 48 331 5184, FAX: +55 48 3315191
email: carolina@labeee.ufsc.br

RESUMO

Desde a década de 70, o Brasil vem sofrendo períodos de restrições financeiras e de crises no setor elétrico nacional. Estratégias no sentido de controlar a curva de carga principalmente nas horas de pico devem começar a ser prioridades no setor elétrico. Uma das alternativas de deslocamento dessa carga é a utilização de painéis fotovoltaicos interligados à rede de energia elétrica, disseminando dessa forma a geração nos pontos consumidores. Percebe-se que o pico de carga diurno devido principalmente à utilização de ar condicionado é dado justamente em casos onde a disponibilidade solar é alta. As curvas de carga, para regiões de “consumo diurno”, serão analisadas e comparadas com a capacidade de geração fotovoltaica (FV). Para isso será calculado o Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC) de sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica, traduzindo a capacidade das plantas FV em garantir o suprimento do consumo para uma determinada região analisada. Esse fator será relevante quando existir insolação adequada e consumo energético crescente, ou seja, onde haja a necessidade de expansão do sistema elétrico, principalmente de transmissão e distribuição. A análise pode ser feita para qualquer região da qual se tenha dados de geração solar e de consumo. Os estudos poderão comprovar na prática a eficiência de sistemas fotovoltaicos na redução do pico de consumo diurno. O trabalho visa estabelecer uma metodologia de identificação dos sítios onde a geração FV possa ser aplicada com o máximo de benefícios.

ABSTRACT

Since the 70s, Brazil has been facing periods of financial restrictions and crises in the national electricity sector. Strategies to control the load curve mainly at the peak hours must start to be priority in the electricity sector. One option of displacement of this load is the use of Photovoltaic generators (PV) connected to the utility grid. It is observed that the peak load over the day due to air-conditioning use occurs when the solar availability is high. The load curves, for regions of "daytime consumption", will be analyzed and compared with the capacity of PV generation. Therefore, the Effective Load-Carrying Capacity (ELCC) of PV systems connected to the utility grid will be calculated, translating

the capacity of PV plants of guaranteeing the supply of the load for a specific region analyzed. The ELCC will be relevant when adequate solar radiation exists and increasing energy consumption occurs, as well as when it is necessary to expand the electrical system, mainly transmission and distribution. The analysis can be made for any region in which solar generation and power consumption data are available. The study will help to verify the efficiency of PV systems to reduce the peak load over the day. This work aims to establish a methodology of identification of regions where PV generation can be applied for maximum benefits.

1. INTRODUÇÃO

Além das dificuldades ambientais e da crescente escassez de recursos energéticos naturais à implantação de novas usinas, existem também as dificuldades crescentes de financiar os grandes investimentos energéticos. À medida que os recursos naturais e ambientais disponíveis para a produção de eletricidade se tornam mais escassos e a legislação ambiental se torna mais rígida, os custos da construção de novas usinas elétricas se ampliam.

Portanto, a busca por novas fontes alternativas de energia surge não só para aliviar esses problemas como também para aumentar a confiabilidade do sistema elétrico nacional.

A diversificação da matriz energética brasileira, compondo um “mix energético”, diminuiria os riscos de crise no setor. A geração de energia pode ser feita por recursos naturais em abundância como por exemplo, vento, biomassa e o sol. Atualmente essas tecnologias estão sendo cada vez mais pesquisadas em projetos piloto.

Entre estes recursos naturais destaca-se a energia solar, que pode apresentar uma grande solução energética para o planeta. A geração fotovoltaica se dá pela conversão direta da luz solar em eletricidade, produzida por uma diferença de potencial elétrico nas faces opostas de uma junção semicondutora. Posteriormente, um inversor faz a conversão da corrente contínua em corrente alternada para disponibilizar o consumo.

O custo da energia solar fotovoltaica é ainda elevado, devido principalmente à pequena escala de produção anual (< 600 MW em 2002) [Schmela, 2003], não sendo competitivo com sistemas convencionais de geração elétrica. Entretanto, existem situações onde a implantação de sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações e conectados à rede elétrica pode, não só ser competitiva, como representar uma solução mais econômica. Um caso típico a ser considerado é quando existe a necessidade de ampliação da rede em regiões onde o perfil de consumo é caracterizado por uma forte dependência do sol. Os custos de ampliação da rede elétrica podem, em alguns casos, ser superiores ao custo de implantação de um sistema solar fotovoltaico.

A geração distribuída (GD) de energia, oferece inúmeras vantagens ao setor elétrico já que a disposição da unidade de geração é próxima à carga, permitindo a diminuição das perdas associadas ao transporte de energia elétrica, que advém do modelo tradicional de expansão do setor elétrico. Além disso, permite uma maior diversificação das tecnologias empregadas para produção de energia e, desta maneira, sua escolha pode ser feita em função dos requerimentos específicos da carga ou da disponibilidade dos recursos energéticos locais. [Rodrigues, 2002].

Neste trabalho foram analisados valores de corrente registrados pela Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC) em intervalos de 1 hora para 56 alimentadores que suprem a cidade de Florianópolis e algumas cidades vizinhas e comparados aos valores de geração solar fotovoltaica registrados pelo sistema de aquisição de dados da planta solar fotovoltaica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) [Rüther, 2000]. Com base na comparação dos dados de consumo e geração fotovoltaica (FV), podemos efetuar várias simulações de uso de sistemas FV interligados à rede elétrica e calcular a capacidade que essas plantas fotovoltaicas têm de garantir o suprimento de energia elétrica nos horários de maior consumo. Para isso, serão introduzidos alguns conceitos e efetuados cálculos que traduzem essa capacidade.

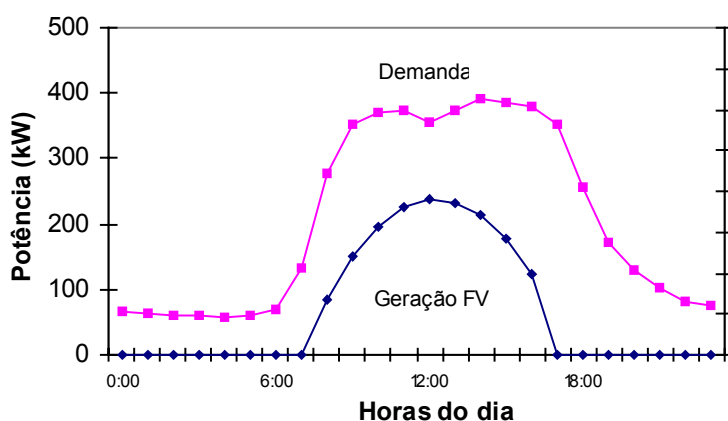
2. OBJETIVO DESTE TRABALHO

Quantificar, através do Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC), a capacidade de uma planta fotovoltaica em contribuir efetivamente para a capacidade da rede, reduzindo o pico de demanda em regiões que tenham coincidência entre a demanda e incidência solar.

3. PICO DE DEMANDA DIURNO E CURVA DE CARGA

Em centros urbanos, o uso intensivo de aparelhos de ar condicionado para condicionamento de ambientes coincide com a maior oferta solar e portanto com máximos na geração fotovoltaica. A geração fotovoltaica pode neste caso apresentar vantagens à concessionária elétrica local, no sentido de aliviar picos de consumo na rede, aumentando assim a vida útil do sistema de transmissão e distribuição e adiando os grandes investimentos e longos prazos de instalação envolvidos na construção de centrais elétricas convencionais [Rüther, 1998].

Nessas regiões, o maior consumo ocorre no verão no período entre 09:00h e 17:00h, exatamente o período de maior geração solar. Comparando curvas de consumo e curvas de geração solar, pode-se conhecer a “capacidade” que uma planta FV tem de gerar energia quando esta é necessária. Sendo assim, uma planta FV pode ser vista não apenas como uma fonte geradora de energia, mas também, e principalmente, como uma planta que aumenta a capacidade da rede elétrica local.



A Figura 1 mostra qualitativamente a demanda de um dos alimentadores da CELESC (carga) e a geração fotovoltaica de um dia de céu limpo em Florianópolis (11/03/2002). Como pode ser visto, a geração fotovoltaica aproxima-se muito da curva de demanda, significando que o uso de geração fotovoltaica poderá oferecer uma grande contribuição para redução do pico de carga nessa região.

Figura 1 – Curva de carga e geração FV

4. A OCORRÊNCIA DE CARGAS QUE “SEGUEM O SOL”

Os gráficos apresentados abaixo correspondem a um dos vários alimentadores analisados. As curvas superiores representam a demanda, as intermediárias representam a diferença entre a demanda e a geração fotovoltaica e as curvas inferiores representam a geração fotovoltaica.

A Figura 2 representa um dia nublado até às 12:00h e ensolarado depois desse horário. No momento que existe a presença do sol a curva de demanda cresce. A Figura 3 representa um “dia limpo” sem interferência de nuvens; a curva de demanda aparece em níveis elevados já no período da manhã.

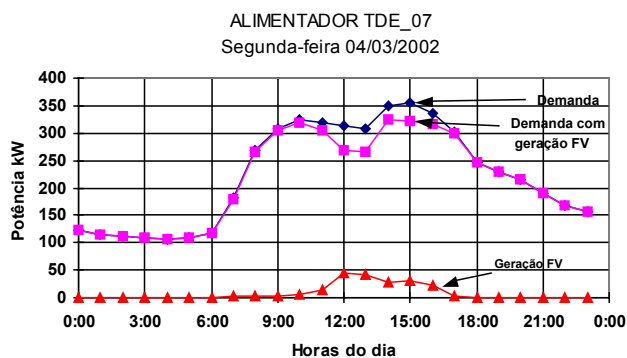


Figura 2 – Dia parcialmente nublado

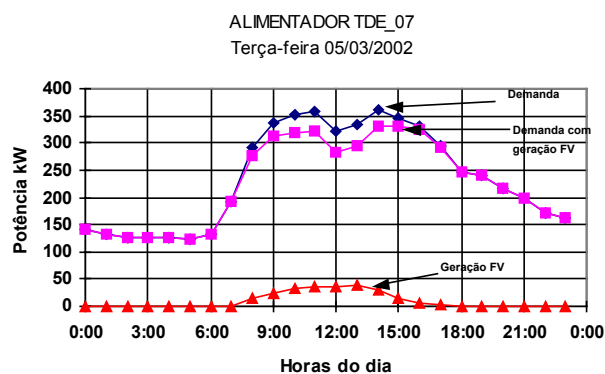


Figura 3 – Dia ensolarado

Analisando as curvas apresentadas nas Figuras 2 e 3 é possível verificar uma forte correlação com a geração solar. Essa dependência deve-se principalmente ao uso do ar condicionado em dias quentes.

5. FATOR EFETIVO DE CAPACIDADE DE CARGA – FECC

O fator FECC traduz a capacidade que uma planta fotovoltaica tem de suprir a demanda [Perez,1996]. Sendo assim, os valores de geração FV a serem utilizados nos cálculos devem ser de capacidade de geração que, traduzindo, significam geração fotovoltaica em dias com céus claros (“dias limpos”).

Um “dia limpo” caracteriza-se por não apresentar cobertura de nuvens durante todo o período diurno, ou seja, a geração fotovoltaica, para aquele dia do ano, depende exclusivamente do posicionamento do sol. Como as estações de verão e inverno possuem diferentes níveis de irradiação solar bem como diferentes períodos de insolação, para os cálculos do Fator Efetivo de Capacidade de Carga foram utilizados “dias limpos” mensais, ou seja, foram selecionados 12 dias limpos, um para cada mês do ano.

Nível de penetração é definido como sendo o valor percentual da potência FV instalada em relação ao valor máximo de demanda a ser suprido. Tomando como exemplo o alimentador CQS_01 que tem uma curva de carga com o pico de demanda de 246 kW, adotar um nível de penetração de 10% significa que o alimentador será responsável pelo suprimento de 90% desse pico. Neste caso a capacidade do alimentador seria 221,4 kW e da planta FV de 24,6 kW.

O FECC para uma mesma região varia em função do nível de penetração. Quanto menor o nível de penetração, maior o FECC. Isso acontece porque a demanda não “segue” exatamente o sol. Por exemplo, se uma determinada região possui uma curva de consumo cuja demanda representa 92% às 18:00 h, a curva de carga estará sendo deslocada justamente num horário que não existe geração fotovoltaica. Neste caso, por mais que se aumente o nível de penetração acima de 8%, o FECC nunca será superior a 80%. Entretanto, para níveis de penetração inferiores a 8% podem ser obtidos valores de FECC inclusive bem acima de 90%.

Na Figura 4 estão representados os valores envolvidos no cálculo do FECC.

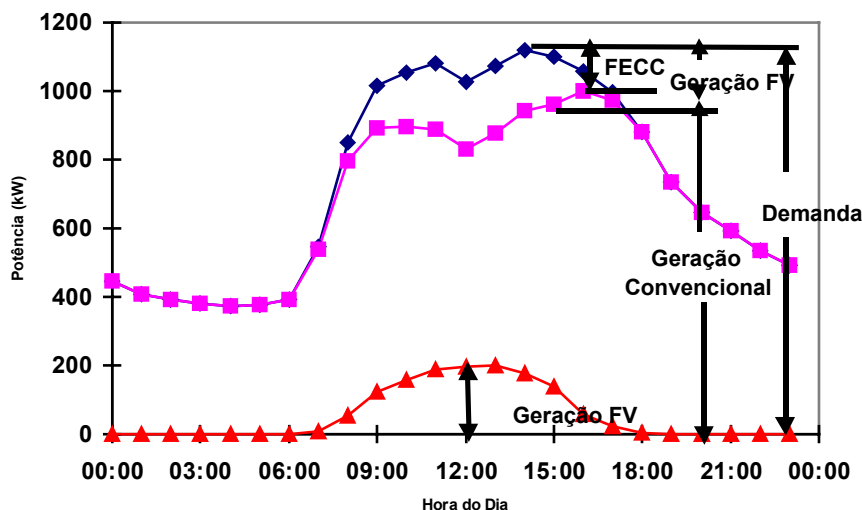


Figura 4 – Curva de demanda original, geração fotovoltaica e diferença entre a demanda e a geração FV

Os termos que aparecem na figura representam:

Demanda – é o valor da demanda a ser suprida

Geração Convencional – é a parcela da demanda a ser suprida pela geração convencional

Geração FV – é a parcela da demanda a ser suprida pela geração FV. Esse valor corresponde à potência fotovoltaica instalada, sendo o valor de geração FV obtido às 12:00 h.

FECC – é a parcela da demanda, relativa à potência FV instalada, que efetivamente foi suprida pela geração FV.

6. RESULTADOS OBTIDOS NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS

Foram analisados valores de corrente de 11 dos 56 alimentadores da CELESC que suprem a cidade de Florianópolis e algumas cidades vizinhas. Os valores de corrente são registrados em intervalos de 1:00 hora. Alguns alimentadores possuem esses dados registrados a partir de 01/08/2000 e outros a partir de 01/08/2001, ambos com medições até o dia 30/04/2002. Embora alguns alimentadores não possuam dados registrados para um ano completo, todos eles possuem dados completos para o “verão”, que, como será visto mais adiante nos resultados obtidos, são os valores que definem os coeficientes e resultados analisados neste trabalho.

Como primeiro passo na localização de regiões caracterizadas por consumo no período diurno, foram localizados os picos de consumo para todos os alimentadores em todo o período de monitoramento (01/08/2000 a 30/04/2002). Os alimentadores que possuem pico de consumo entre as 07:00h e as 17:00h foram selecionados para análise e cálculo do FECC, pois são os que, a princípio, podem ter uma dependência do consumo com a incidência solar. Isso não descarta a possibilidade de outros alimentadores possuírem cargas dependentes do sol, pois, em alguns casos, o valor máximo de consumo pode não representar o comportamento típico do consumo da região.

Tabela 1: Identificação dos 11 alimentadores

Alimentador	Data	Hora	Corrente (A)
CQS_01	11/03/2002	15:00	246
CQS_10	12/03/2002	14:00	338
CQS_11	13/03/2002	14:00	399
CQS_12	23/11/2001	15:00	1121
CQS_TT1	19/03/2002	14:00	280
ICO_03	07/12/2001	15:00	290
ICO_07	19/03/2002	14:00	399
ICO_10	27/10/2000	15:00	388
ICO_11	11/03/2002	14:00	392
ICO_LI	12/02/2001	14:00	269
TDE_07	12/03/2002	14:00	398

Para o cálculo do Fator Efetivo de Capacidade de Carga serão utilizados dias limpos para cada mês do ano. Isso deve-se ao fato de que ao longo do ano existe diferença de irradiação solar e a curva de

demanda tem que ser comparada com a curva de geração solar mensal correspondente. Na Figura 5 é exemplificado o mês de março com um pico de geração fotovoltaica de 290 kW e o mês de junho com o nível de geração em torno de 225 kW.

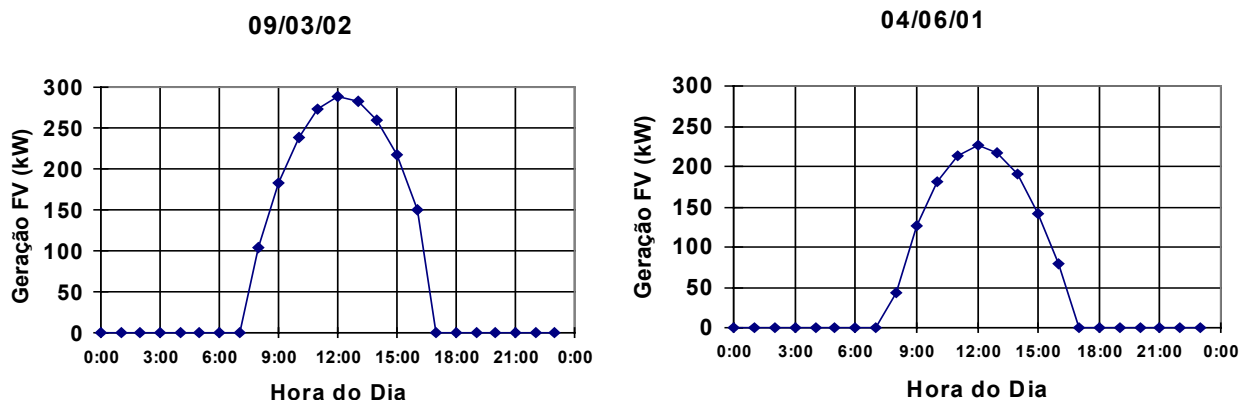


Figura 5 – Dias limpos mensais

Para calcular o Fator Efetivo de Capacidade de Carga é necessário obter alguns valores do banco de dados fornecido pela CELESC, como a identificação do alimentador, Pico C que corresponde ao pico de demanda histórico, dia e hora em que ocorreu o mesmo. A seguir são calculados outros valores a partir do nível de penetração desejado e calculado posteriormente o FECC.

O Fator Efetivo de Capacidade de Carga é determinado através da diferença do pico de demanda histórico (Pico C) com o pico de demanda histórico considerando a existência da planta FV (PicoCFV), dividido pela potência da planta FV (PotFV) e multiplicado por 100.

A seguir, foram calculados, para os 11 alimentadores previamente apresentados, o Fator Efetivo de Capacidade de Carga para níveis de penetração de 1%, 5% e 10%, explicitando os itens mais importantes desses cálculos nas tabelas abaixo.

Tabela 2: Valores do FECC para 1% de Penetração

Alimentador	Pico C (kW)	PotRede (kW)	PotFV (kW)	PicoCFV (kW)	RedDemanda (kW)	Dia	Hora	FECC %
CQS_01	246	243,54	2,46	244,21	1,79	11/03/02	15:00	72,76
CQS_10	338	334,62	3,38	335,05	2,95	12/03/02	14:00	87,28
CQS_11	399	395,01	3,99	395,51	3,49	13/03/02	14:00	87,47
CQS_12	336	332,64	3,36	333,90	2,10	23/11/01	15:00	62,50
CQS_TT1	1.121	1.109,79	11,21	1.111,21	9,79	19/03/02	14:00	87,33
ICO_03	290	287,10	2,90	288,19	1,81	27/11/01	15:00	62,41
ICO_07	399	395,01	3,99	395,51	3,49	19/03/02	14:00	87,47
ICO_10	388	384,12	3,88	385,47	2,53	27/10/00	15:00	65,21
ICO_11	392	388,08	3,92	388,57	3,43	11/03/02	14:00	87,50
ICO_LI	269	266,31	2,69	266,53	2,47	12/02/03	14:00	91,82
TDE_07	398	394,02	3,98	394,52	3,48	12/03/02	14:00	87,44

Tabela 3: Valores do FECC para 5% de Penetração

Alimentador	Pico C (kW)	PotRede (kW)	PotFV (kW)	PicoCFV (kW)	RedDemanda (kW)	Dia	Hora	FECC %
CQS_01	246	233,70	12,30	237,05	8,95	11/03/02	15:00	72,72
CQS_10	338	321,10	16,90	323,25	14,75	12/03/02	14:00	87,27
CQS_11	399	379,05	19,95	381,58	17,42	13/03/02	14:00	87,29
CQS_12	336	319,20	16,80	325,51	10,48	23/11/01	15:00	62,41
CQS_TT1	1.121	1.064,95	56,05	1.072,07	48,93	19/03/02	14:00	87,28
ICO_03	290	275,50	14,50	281,35	8,65	27/11/01	15:00	59,65
ICO_07	399	379,05	19,95	381,58	17,41	19/03/02	14:00	87,29
ICO_10	388	368,60	19,40	375,36	12,64	27/10/00	15:00	65,15
ICO_11	392	372,40	19,60	374,89	17,11	11/03/02	14:00	87,29
ICO_LI	269	255,55	13,45	256,67	12,32	12/02/03	14:00	91,63
TDE_07	398	378,10	19,90	380,63	17,37	12/03/02	14:00	87,28

Tabela 4: Valores do FECC para 10% de Penetração

Alimentador	Pico C (kW)	PotRede (kW)	PotFV (kW)	PicoCFV (kW)	RedDemanda (kW)	Dia	Hora	FECC %
CQS_01	246	221,40	24,60	229,66	16,34	11/03/02	15:00	66,42
CQS_10	338	304,20	33,80	311,00	27,00	12/03/02	14:00	79,88
CQS_11	399	359,10	39,90	364,17	34,83	13/03/02	14:00	87,29
CQS_12	336	302,40	33,60	315,03	20,97	23/11/01	15:00	62,41
CQS_TT1	1.121	1.008,90	112,10	1.032,00	89,00	19/03/02	14:00	79,39
ICO_03	290	261,00	29,00	275,70	14,30	27/11/01	15:00	49,31
ICO_07	399	359,10	39,90	364,98	34,02	19/03/02	14:00	85,26
ICO_10	388	349,20	38,80	362,72	25,28	27/10/00	15:00	65,15
ICO_11	392	352,80	39,20	359,33	32,67	11/03/02	14:00	83,34
ICO_LI	269	242,10	26,90	245,50	23,50	12/02/03	14:00	87,36
TDE_07	398	358,20	39,80	363,26	34,74	12/03/02	14:00	87,28

O alimentador ICO_LI obteve o FECC mais elevado representado 91,82% com um nível de penetração de 1%. Isso significa que uma planta fotovoltaica de 2,69 kW (correspondente a 1% de penetração FV), pode ser considerada uma fonte de energia despachável de 2,47 kW.

Pode-se perceber que entre os níveis de penetração de 1% e 5% não existem grandes variações dos valores de FECC, porém para um nível de penetração acima de 10% os valores diminuem mais significativamente.

Pode-se perceber, através dos valores do Fator Efetivo de Capacidade de Carga, que os índices de redução do pico de demanda são bastante satisfatórios.

7. CONCLUSÃO

Apesar do pico de demanda do sistema elétrico brasileiro como um todo apresentar-se entre 18:00h até 21:00h, caracterizando portanto pico de demanda noturno, dos 56 alimentadores da CELESC analisados, 24 deles possuem pico de demanda diurno representando 43% do total. Nesses casos a curva de demanda está relacionada ao sol, principalmente pelo uso intensivo de ar condicionado em centros urbanos.

A maior demanda, considerando a soma dos 56 alimentadores registrada pela CELESC foi de 383,66MW. Se fosse instalada uma planta fotovoltaica com nível de penetração de 1%, a geração FV corresponderia a 3,84 MW.

Foi possível quantificar, através do Fator Efetivo de Capacidade de Carga, a capacidade de uma planta fotovoltaica em contribuir efetivamente para a capacidade da rede, reduzindo o pico de demanda em regiões que tenham coincidência entre a demanda e a incidência solar.

A disseminação de painéis fotovoltaicos em centros urbanos pode ter um papel de extrema importância na redução do pico de demanda em horas que a abundância solar é compatível com a utilização da energia.

Os períodos de pico de carga ainda representam um problema para o setor elétrico; estratégias como a apresentada neste trabalho abordam esse problema afim de controlá-los.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Centrais Elétricas de Santa Catarina – CELESC, pelo acesso aos dados reportados neste trabalho.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HERIG, C., *Using Photovoltaics to Preserve California's Electricity Capacity Reserves*, NREL/BR-520-31179, Golden, CO, 2001.

PEREZ, R., SEALS, R., HERIG, C. *PV Can Add Capacity to the Grid*. NREL Brochure DOE/GO-10096-262, NREL, Golden, CO, 1996.

PEREZ, R., et alli., *The Solar Load Controller End-Use Maximization of PV's Peak Shaving Capacity*, Proc. ASES Annual Conference, Madison, Wisconsin, 2000.

PEREZ, R., *Meeting Peak Demand with Photovoltaics*, University of New York at Albany, 2001.

RODRIGUES, C., *Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede*, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. Dissertação (Mestrado).

RÜTHER, R., DACOREGIO, M., *Performance Assessment of a 2 kWp Grid-Connected, Building-integrated, Amorphous Silicon Photovoltaic Installation in Brazil*. 8: 257-266, Progress in Photovoltaics Research and Applications, 2000.

RÜTHER, R., *Panorama Atual da Utilização da Energia Solar Fotovoltaica e Trabalho do Labsolar nesta Área*. Laboratório de Energia Solar. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

SCHMELA, M., *A Bullish PV Year*, Photon International, Issue 3/2003, 42 – 48, 2003.