

# POSICIONAMENTO ESTRATÉGICO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERLIGADOS À REDE ELÉTRICA EM ALIMENTADORES COM PICO DE DEMANDA DIURNO

**Carolina Brandão Pereira de Souza** – carolina.souza@joinville.ufsc.br  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Engenharia da Mobilidade

**Paulo Knob** - pjknob@gmail.com

**Ricardo Rütther** – ruther@mbox1.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

**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 sistemas fotovoltaicos interligados à rede de energia elétrica, disseminando dessa forma a geração nos pontos consumidores. Percebe-se que o pico de carga diurno é devido principalmente à utilização de ar condicionado e 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 fotovoltaicas 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 demanda diurno. O trabalho visa estabelecer uma metodologia de identificação dos sítios onde a geração fotovoltaica possa ser aplicada com o máximo de benefícios.

**Palavras-chave:** sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica, posicionamento estratégico, redução pico de demanda.

## 1. INTRODUÇÃO

A tecnologia solar fotovoltaica conectada à rede elétrica pública é atualmente uma das fontes mais caras de geração de energia elétrica. Um dos principais entraves à sua maior utilização é o seu alto custo, decorrente de sua limitada escala de produção. A evolução na escala de produção da tecnologia fotovoltaica no mundo é cada vez mais importante, com excelentes taxas de aumento da produção mundial, sendo esta a fonte de geração com a maior taxa de crescimento entre todas as fontes de geração, convencionais ou alternativas (Ren21, 2006). Em termos absolutos, no entanto, a potência instalada a cada ano ainda é muito pequena. Contudo, estudos apontam para o grande potencial de redução de custos da tecnologia fotovoltaica para produção em massa (Ovshinsky, 1994). Neste contexto, é fundamental agregar o máximo de valor à geração solar fotovoltaica, propiciando o ganho de escala e a redução generalizada dos custos dos sistemas, sendo a utilização de sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica em centros urbanos com a demanda coincidente com a disponibilidade solar uma das aplicações mais nobres e promissoras.

Os sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica em centros urbanos com características de demanda diurna podem, sob certas condições, ser considerados fontes despacháveis de energia nos horários de pico de demanda, significando um acréscimo de capacidade através da geração distribuída. Os sistemas solares fotovoltaicos integrados às edificações urbanas e interligados ao sistema de distribuição oferecem uma série de vantagens para o sistema elétrico, muitas das quais estão relacionadas a custos evitados de expansão. Dentre elas, pode-se destacar (Rütther, 2004a): perdas por transmissão e distribuição de energia são minimizadas por estarem próximos ao ponto de consumo; investimentos em linhas de transmissão e distribuição podem ser postergados ou reduzidos; edifícios solares fotovoltaicos não apresentam necessidade de área física extra, uma vez que a área necessária já é ocupada pela própria edificação, portanto, podendo ser, aplicadas em centros urbanos.

Saber onde inserir estrategicamente os sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica de forma a se obter um aumento da capacidade de carga do alimentador é uma questão de grande relevância para as concessionárias de energia, pois a correta definição dos alimentadores e da potência fotovoltaica a ser instalada, além de aliviar a demanda dos alimentadores, propicia à concessionária um custo evitado de expansão da rede de T&D que se sobressai ao valor do kilowatt-hora fotogerado.

Com o intuito de posicionar nos centros urbanos os sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica, propõe-se neste trabalho uma abordagem para a seleção e priorização dos alimentadores, de maneira a obter o maior potencial de

redução do pico de demanda e os maiores benefícios para as concessionárias de energia. Em função da própria definição de fonte despachável de energia, essa abordagem prevê a utilização desses sistemas em alimentadores que apresentem o perfil de demanda diurno.

## 2. POSICIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERLIGADOS À REDE ELÉTRICA

A estratégia de posicionamento de sistemas fotovoltaicos toma por base a forte correlação que se verifica entre as curvas de demanda de alimentadores diurnos e as curvas de geração solar fotovoltaica. Considera-se que os maiores picos de demanda estão associados a dias ensolarados e que agreguem ao alimentador em questão uma parcela de geração solar fotovoltaica, percentual que estará sempre presente quando necessário. Para dias/períodos com céu encoberto, considera-se que haverá uma redução na demanda do alimentador correspondente ao déficit relativo à geração solar, que deixará de ocorrer em decorrência da redução dos níveis de radiação solar correspondentes.

O Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC) é definido como uma medida da capacidade de crédito de um sistema fotovoltaico, ou ainda, do aumento da capacidade disponível da rede elétrica atribuída à geração fotovoltaica. Para cada alimentador diurno selecionado o FECC é calculado para diferentes capacidades de geração fotovoltaica, identificando o potencial de contribuição da energia solar conectada à rede elétrica na redução do pico de demanda. Dados horários de demanda dos alimentadores foram fornecidos pela concessionária CELESC e os dados de radiação solar, bem como os dados de geração fotovoltaica, foram extraídos da estação solarimétrica de 2kWp interligada à rede elétrica e integrada à edificação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Para calcular o FECC, 12 dias limpos representando os 12 meses do ano foram selecionados, e esses dados normalizados com relação ao pico de demanda histórico de cada alimentador. Dos 35 alimentadores da Ilha de Santa Catarina, foram identificados 17 com perfil de demanda diurno.

### 2.1. Fator Efetivo de Capacidade de Carga – FECC

O Fator Efetivo de Capacidade de Carga proporciona ao sistema de planejamento elétrico mensurar o impacto relativo de uma nova unidade de geração na carga do sistema (Garver, 1966; Sullivan, 1977). Uma outra definição é a habilidade que uma fonte de geração – fotovoltaica ou convencional – tem de contribuir efetivamente para a capacidade da rede elétrica.

Sendo assim, o FECC representa a habilidade de um sistema fotovoltaico em prover energia quando esta é necessária, ou seja, é a capacidade de crédito de uma planta fotovoltaica (Perez, Seals e Herig, 1996). No presente trabalho, o valor do FECC para um determinado dia e para um determinado alimentador é calculado pela Eq. 1:

$$FECC = \frac{(PicoC - PicoCFV)}{FV} \times 100\% \quad (1)$$

onde  $PicoC$  é o valor do pico de demanda histórico (kW),  $PicoCFV$  é o valor do novo pico de demanda para o dia do pico histórico (kW), considerando a existência da planta fotovoltaica e  $FV$  é a capacidade nominal instalada do sistema fotovoltaico (kWp).

A Fig. 1 exemplifica a teoria aplicada. A curva superior (losangos) representa a curva de demanda do alimentador, a curva intermediária (quadrados) representa a nova curva de demanda com a geração fotovoltaica que o alimentador deverá suprir e a curva inferior (triângulos) representa a curva de geração solar.

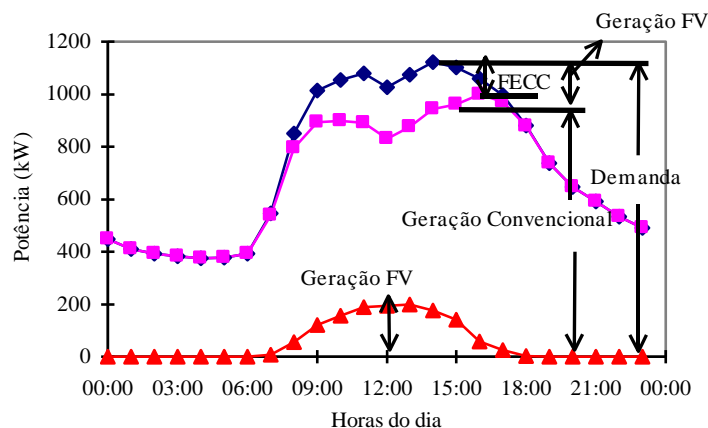


Figura 1 – Curva de demanda original, geração fotovoltaica e diferença entre a demanda e a geração fotovoltaica.

O FECC é calculado para cada alimentador diurno da Ilha de Florianópolis. A potência da planta fotovoltaica é aqui definida como um valor percentual do pico histórico de demanda, ou ainda, função do Nível de Penetração da planta fotovoltaica. O Nível de Penetração é definido como a porcentagem do pico histórico de demanda (CA kW) de um dado alimentador que é suprido parcialmente por uma planta fotovoltaica (CC kW), assumindo uma taxa de desempenho de 80% (definida como as perdas de desempenho do sistema oriundas da conversão CC/CA, posicionamento dos painéis, condições de operação e as demais possíveis fontes de perdas), baseado no monitoramento da estação solarimétrica de 2 kWp interligada à rede elétrica e integrada à edificação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Dos 35 alimentadores da Ilha de Santa Catarina, foram identificados 17 com perfil de demanda diurno, que são estudados em maior detalhe. Na Tab. 1, os valores de FECC de 12 alimentadores diurnos para, por exemplo, um Nível de Penetração de 10% são apresentados em ordem decrescente. Os valores variam entre 65 e 82%. Como esperado, quanto mais próximo o horário do pico de demanda for do horário de máxima radiação solar, maior o FECC do alimentador, ou seja, maior é a capacidade de redução do pico de demanda pela geração fotovoltaica. Para o alimentador com maior FECC, ICO\_09, no dia 25/11/2003 às 13:00 horas, 82,6% da potência fotovoltaica instalada, ou seja  $828,4 \text{ kW} \times 82,6\% = 684,25 \text{ kW}$ , pode ser considerada como potência despachável no momento do pico de demanda. Em síntese, pode-se observar que existe uma forte correlação entre a demanda do alimentador e a geração fotovoltaica no momento do pico histórico.

Tabela 1. Valores de FECC para 10% de Nível de Penetração.

Alimentador	Data Pico Histórico	Hora Pico	Pico C (kW)	FV (kW)	Pico CFV (kW)	FECC (%)
ICO_09	25/11/2003	13:00	8.283,6	828,4	7.599,2	82,6
ICO_10	07/2/2003	13:00	8.581,4	858,1	7.884,9	81,2
CQS_11	16/03/2002	13:00	9.533,4	953,3	8.763,0	80,8
TDE_03	12/04/2005	11:00	8.256,3	825,6	7.598,7	79,7
ICO_12	04/02/2004	14:00	6.877,2	687,7	6.338,2	78,4
ICO_04	12/03/2002	13:00	8.861,8	886,2	8.192,6	75,5
CQS_12	07/12/2001	14:00	7.999,1	799,9	7.403,3	74,5
ICO_07	19/03/2002	14:00	9.533,6	953,4	8.827,8	74,0
TDE_07	12/03/2002	14:00	9.524,1	952,4	8.819,0	74,0
ICO_11	11/03/2002	14:00	9.379,8	938,0	8.685,4	74,0
ICO_08	12/03/2002	14:00	8.963,4	896,3	8.299,8	74,0
ICO_05	26/11/2002	14:00	7.208,5	720,8	6.682,5	73,0

É importante salientar o fato de que todos os picos históricos aconteceram em meses próximos ao verão, o que não somente evidencia a forte correlação entre a maior demanda e o uso de aparelhos de ar-condicionado, como também correlaciona a maior utilidade da geração solar no período do ano em que o recurso solar é mais abundante. Esta análise demonstra o benefício da geração solar fotovoltaica em centros urbanos de ser mais disponível quando é mais necessária.

Para cada alimentador em análise o pico de demanda histórico é identificado e calculado o FECC para valores de Nível de Penetração variando de 1% a 50%. A Fig. 2 apresenta a evolução do FECC com o aumento da participação fotovoltaica no suprimento da demanda dos alimentadores Ilha-Centro (ICO). Este conjunto de curvas é apresentado como uma ferramenta estratégica que pode auxiliar as concessionárias na determinação da capacidade de redução do pico de demanda do alimentador em questão que uma determinada planta fotovoltaica pode oferecer em adição à energia gerada.

## 2.2. Fator de Utilização e Fator de Relevância

O FECC indica qual a capacidade de uma planta fotovoltaica em reduzir o pico de demanda; entretanto, nada sugere sobre o quão próximo ou distante o alimentador está trabalhando da sua capacidade nominal. Sabendo que um dos principais interesses da tecnologia fotovoltaica interligada à rede elétrica urbana é o de evitar custos de expansão em T&D, quantificar a utilização, ou sobrecarga, de cada alimentador é importante para auxiliar na priorização dos alimentadores.

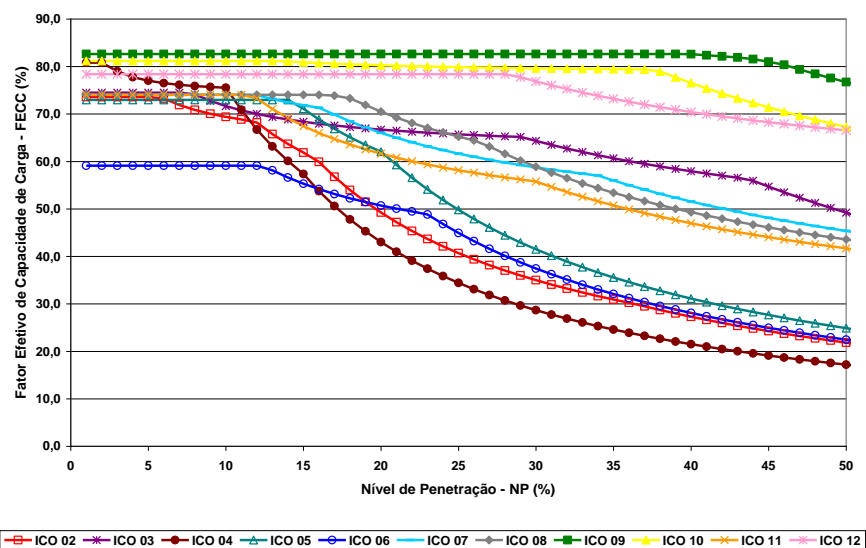


Figura 2 – Variação do FECC em função do Nível de Penetração para os alimentadores da subestação ICO – Centro.

O Fator de Utilização de um sistema (Kagan *et al.*, 2005), num determinado período de tempo, é definido como a relação entre a demanda máxima do sistema, ou de parte de um sistema, no período em análise, e sua capacidade instalada. Formalmente, sendo:

$$f_{util} = \frac{D_{max}}{C_{sist}} \quad (2)$$

sendo  $D_{max}$  a demanda máxima do sistema no período,  $C_{sist}$  a capacidade do sistema.

Segundo informações da concessionária CELESC, os cabos dos alimentadores selecionados têm capacidade para corrente nominal de 426 A; porém os ajustes dos transformadores e demais equipamentos estão para 400 A; logo, o atual limite operacional é de 400 A. Considerando este limite operacional para os 17 alimentadores analisados, a Tab. 2 apresenta o Fator de Utilização de cada alimentador para o dia do pico histórico e o FECC para um Nível de Penetração de 10%.

Tabela 2. Evolução do Fator de Utilização com a inclusão de uma planta fotovoltaica com Nível de Penetração de 10%.

Alimentador	Hora Pico	Pico C	FECC (%)	Fator de Utilização	Fator de Utilização c/FV
ICO_09	13:00	8283,6	82,6	0,814	0,746
ICO_10	13:00	8581,4	81,1	0,843	0,774
CQS_11	13:00	9533,4	80,8	0,936	0,861
TDE_03	11:00	8256,3	79,6	0,811	0,746
ICO_12	14:00	6877,2	78,3	0,675	0,622
ICO_04	13:00	8861,8	75,5	0,870	0,805
CQS_12	14:00	7999,1	74,4	0,786	0,727
ICO_07	14:00	9533,6	74,0	0,936	0,867
TDE_07	14:00	9524,1	74,0	0,935	0,866
ICO_11	14:00	9379,8	74,0	0,921	0,853
ICO_08	14:00	8963,4	74,0	0,880	0,815
ICO_05	14:00	7208,5	72,9	0,708	0,656

Como pode ser observado, um elevado FECC não significa necessariamente um elevado Fator de Utilização e vice-versa. Os dois alimentadores com a maior demanda relativa à sua capacidade nominal são os ICO\_07 e CQS\_11, com o Fator de Utilização de 93,6%. Em resumo, isto significa que o pico de carga está 649 kW abaixo da capacidade nominal dos alimentadores. Nestes dois casos os valores do FECC são, respectivamente, de 74,03% e 80,82%.

Um dos ganhos evidentes da utilização de sistemas fotovoltaicos integrados a alimentadores diurnos é a redução do Fator de Utilização, aumentando a disponibilidade de carga do alimentador e possibilitando postergar investimentos

e/ou superar rapidamente situações críticas em alimentadores cujo perfil de demanda tenha uma mudança brusca. Este pode ser o caso, por exemplo, da instalação de um novo centro comercial, crescimento urbano da região atendida, etc.

A Tab. 2 apresenta a evolução do Fator de Utilização com a inclusão de uma planta fotovoltaica com um Nível de Penetração de 10% do pico histórico de cada alimentador. Portanto, o pico de demanda considerado no cálculo do Fator de Utilização é o novo pico com geração fotovoltaica.

Para os alimentadores ICO\_07 e CQS\_11, o Fator de Utilização baixou, respectivamente, de 0,936 para 0,867 e 0,861. Isto equivale a uma diferença de 0,069 e 0,071, ou ainda, um aumento na disponibilidade de carga de cada alimentador de 705 e 757 kW. Como esperado, estes valores são exatamente a redução do pico de carga pela geração fotovoltaica, ou seja, o FECC multiplicado pela potência da planta fotovoltaica. Portanto, a diferença do Fator de Utilização sem e com a geração fotovoltaica, ou analogamente, o produto entre o FECC e o Fator de Utilização é um parâmetro que representa a relevância da contribuição fotovoltaica no momento do pico histórico para o alimentador.

Define-se então o Fator de Relevância (FR) da contribuição fotovoltaica como sendo:

$$FR = FECC \times f_{util} \quad (3)$$

onde ambos os parâmetros envolvidos são considerados de mesma ordem de importância.

Deste modo, um alimentador com FECC superior a 90 % não significa que o kilowatt de uma planta fotovoltaica terá também um elevado Fator de Relevância para o alimentador, sendo este dependente do Fator de Utilização no momento do pico histórico. A recíproca é verdadeira: para um alimentador sobrecarregado cuja demanda seja predominantemente noturna, a potência fotovoltaica injetada na rede não será relevante para o alimentador. Os valores de FECC e de FR são apresentados na Tab. 3. Observa-se que os alimentadores com maior FECC - ICO\_09 e ICO\_10 não são os que apresentaram o maior Fator de Relevância, pois estes alimentadores apresentam um Fator de Utilização baixo comparativamente a outros alimentadores, como, por exemplo, o alimentador CQS\_11, que apresentou o maior Fator de Relevância e o maior Fator de Utilização.

Tabela 3. Apresentação dos valores de FR e FECC para os 17 alimentadores diurnos e para um Nível de Penetração de 10%.

Alimentador	FECC (%)	Fator Utilização (FU)	FR = FECC * FU
ICO_09	82,6	0,814	67,2
ICO_10	81,2	0,843	68,4
CQS_11	80,8	0,936	75,7
TDE_03	79,7	0,811	64,6
ICO_12	78,4	0,675	52,9
ICO_04	75,5	0,870	65,7
CQS_12	74,5	0,786	58,5
ICO_07	74,0	0,936	69,3
TDE_07	74,0	0,935	69,2
ICO_11	74,0	0,921	68,2
ICO_08	74,0	0,880	65,2
ICO_05	73,0	0,708	51,7

### 2.3. Nível de Penetração Energético

Até o presente momento todos os parâmetros apresentados levam em conta os benefícios da geração fotovoltaica na redução do pico de demanda histórico. Entretanto, ao contrário de Perez *et al.* (1989), que considera a contribuição horária de todos os dias do período em análise (anual) da geração fotovoltaica, a presente metodologia para o cálculo do FECC considera somente o ocorrido no dia do pico histórico, independente do período considerado.

Apesar do pico de demanda histórico ser o momento onde o alimentador é mais susceptível a ocorrência de falhas por sobrecarga do sistema, o FECC nada informa, por exemplo, sobre a contribuição da planta fotovoltaica na demanda total de energia do alimentador ao longo de um ano, por exemplo. Uma maneira de avaliar a contribuição de um sistema fotovoltaico para o consumo anual do alimentador é através do Nível de Penetração Energético (NPE), o qual será detalhado a seguir. O Nível de Penetração Energético (NPE) (Braun *et al.*, 2007) representa o percentual da energia anual ou mensal que os sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica com determinado Nível de Penetração podem contribuir para um alimentador. Para tal, define-se:

$$NPE = \frac{Y}{Z} = \frac{1300 \times PC \times NP}{Z} \quad (4)$$

onde NPE é o Nível de Penetração Energético (valor percentual),  $Y$  a energia fotovoltaica gerada no ano em kWh/ano, adotando a produtividade para Florianópolis de 1300 kWh/kWp/ano,  $Z$  a energia total anual do alimentados em kWh/ano,  $PC$  o pico de demanda do alimentador em kW e  $NP$  o Nível de Penetração (valor percentual).

O NPE é calculado para cada um dos alimentadores em análise, considerando um sistema fotovoltaico com 10% de Nível de Penetração. Os resultados obtidos são apresentados na Tab. 4.

Tabela 4. Contribuição da energia solar fotovoltaica injetada em cada alimentador, para um Nível de Penetração de 10%.

	Subestação	Alimentador	Pico Histórico kWp	Potência FV kWp	Energia Alim. kWh/dia	Energia Alim. kWh/ano	Energia FV kWh/ano	Percentual FV % no ano
1	CQS	CQS_10	8.145,9	814,59	39,855	14.547,221	1.058,967	7,28
2		CQS_11	9.533,4	953,34	65,134	23.774,052	1.239,342	5,21
3		CQS_12	7.999,9	799,99	28,983	10.578,711	1.039,987	9,83
4	ICO	ICO_02	7.873,9	787,39	70,105	25.588,460	1.023,607	4,00
5		ICO_03	6.936,9	693,69	69,386	25.325,733	901,797	3,56
6		ICO_04	8.861,8	886,18	97,292	35.511,744	1.152,034	3,24
7		ICO_05	7.208,5	720,85	99,899	36.463,117	937,105	2,57
8		ICO_06	7.446,0	744,60	77,792	28.394,127	967,980	3,41
9		ICO_07	9.533,6	953,36	64,816	23.657,745	1.239,368	5,24
10		ICO_08	8.963,4	896,34	68,020	24.827,227	1.165,242	4,69
11		ICO_09	8.283,6	828,36	20,475	7.473,412	1.076,868	14,41
12		ICO_10	8.581,4	858,14	30,132	10.998,103	1.115,582	10,14
13		ICO_11	9.379,8	937,98	46,284	16.893,598	1.219,374	7,22
14		ICO_12	6.877,2	687,72	45,378	16.563,014	894,036	5,40
15		TDE	TDE_03	8.256,3	825,63	95,443	34.836,830	1.073,319
16	TDE_04		8.293,6	829,36	91,585	33.428,624	1.078,168	3,23
17	TDE_07		9.524,1	952,41	86,784	31.676,054	1.238,133	3,91
<b>Florianópolis</b>								<b>1300</b>
<b>Ano</b>								<b>365</b>

Como pode ser observado, o alimentador com a maior contribuição energética fotovoltaica é o ICO\_09, que para um Nível de Penetração de 10% contribui em 14,4% da demanda total de energia do alimentador. No extremo desta tabela, o alimentador ICO\_05 contribui somente com 2,57%.

Esta diferença na contribuição pode ser explicada pela relação entre o pico de demanda histórico e a demanda média do alimentador. Da Tab. 5 é possível observar que quanto mais distante o pico de demanda estiver da demanda média, maior será a contribuição da energia fotovoltaica na demanda do alimentador, fato este que ocorre em virtude da definição da potência da planta fotovoltaica como uma função do pico de demanda. Ou ainda, para o alimentador ICO\_09, com a maior contribuição energética, a potência média do alimentador representa somente 11% do pico de demanda histórico. Para o alimentador ICO\_05, com a menor contribuição energética, a potência média representa 60% do pico de demanda.

Tabela 5. Relação entre potência média e pico de carga para os 17 alimentadores diurnos

Alimentador	Potência Média Alimentador - PMA (kW)	Pico Carga- PC (kW)	PM/PC (%)
ICO_09	903	8283,58	11
ICO_10	1291	8581,4	15
CQS_12	1223	7999,14	15
ICO_11	1951	9379,81	21
ICO_12	1934	6877,17	28
ICO_07	2785	9533,58	29
CQS_11	2810	9533,43	29
ICO_08	2933	8963,36	33
TDE_07	3747	9524,11	39
ICO_04	4200	8861,83	47
TDE_03	4152	8256,33	50
ICO_05	4319	7208,46	60

Em resumo ao que foi apresentado, o Nível de Penetração Energético representa o quanto a geração fotovoltaica pode contribuir para a demanda energética total do alimentador. Este parâmetro depende intrinsecamente das características de demanda dos alimentadores.

## 2.4. FV-LOLP e FV-LOLE

Conforme apresentado por Knob e Ruther (2006), uma maneira adicional de avaliar a capacidade de redução do pico de carga mediante o emprego de sistemas fotovoltaicos em alimentadores com características diurnas é

quantificando o tempo em que a geração fotovoltaica não consegue suprir um determinado valor de demanda (FV-LOLE) e a frequência com que este evento ocorre (FV-LOLP). O alimentador ICO\_09 foi utilizado como referência devido à sua característica predominantemente diurna. Foi analisada a contribuição que um gerador solar fotovoltaico hipotético de 1.000 kWp pode oferecer.

Para tal determinação, são traçadas num gráfico as seguintes informações do alimentador (Fig. 3):

- todos os valores de demanda maiores que o pico de demanda histórico menos 1.000 kW (correspondendo à potência nominal da planta fotovoltaica);
- todos os valores correspondentes de demanda menos a geração fotovoltaica real no instante considerado.

Os valores de demanda menos geração fotovoltaica são ordenados em ordem decrescente. As duas linhas horizontais representando o pico de demanda histórico e o pico de demanda menos a potência fotovoltaica de 1.000 kW são traçadas no gráfico. Levando em conta que a planta fotovoltaica pode ser uma fonte despachável de 1.000 kW, a demanda com geração fotovoltaica nunca deve exceder o pico de demanda histórico menos o valor limite de potência fotovoltaico (1000 kW). Se este valor é ultrapassado, pode-se quantificar o quanto a demanda com geração fotovoltaica excede este valor e qual a frequência com que isto ocorre. Um parâmetro importante é a quantidade de horas por ano em que a demanda com geração fotovoltaica excede o valor limite. Este parâmetro é chamado de FV-LOLE (FV Loss of Load Expectation).

Pode-se também calcular o FV-LOLP (FV Loss of Load Probability) para os alimentadores com pico de demanda diurno, sendo este o número de falhas ocorridas por ano.

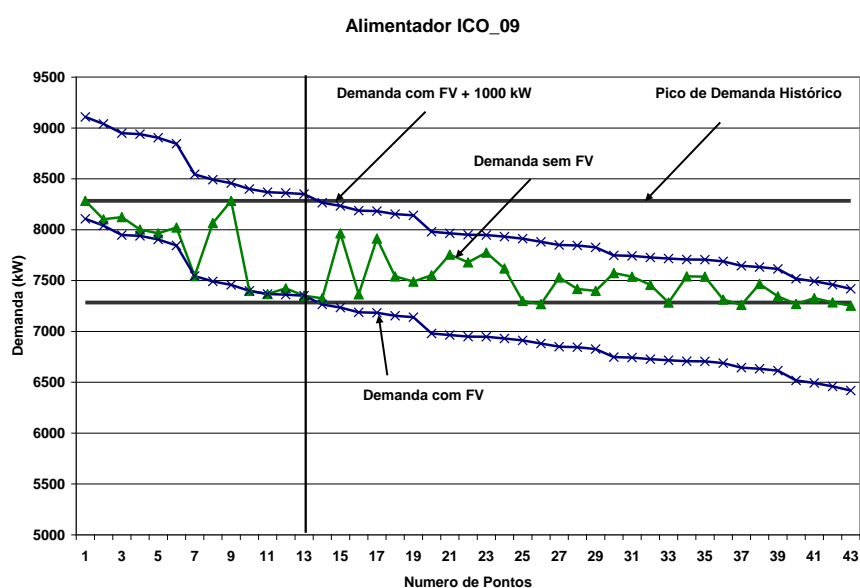


Figura 3 – Maiores demandas no período de três anos e meio para o alimentador ICO\_09 e o efeito na redução do pico de demanda adicionado 1.000 kW de geração fotovoltaica.

No período de três anos e meio analisado, somente 13 pontos apresentaram valores de demanda superiores ao pico de demanda histórico menos a potência da planta fotovoltaica (1.000 kW), correspondendo a um valor de FV-LOLE de 4 horas por ano. Treze falhas aconteceram neste período, correspondendo a um FV-LOLE de 2 falhas por ano (isto significa um tempo médio de 2 horas por falha).

Pode-se dizer que, exceto para os 13 pontos mencionados acima (4 horas por ano ou 0,0457 % do tempo), a geração fotovoltaica reduziu os pontos de elevada demanda em aproximadamente 100% da potência nominal fotovoltaica instalada. Portanto, conclui-se que para o alimentador ICO\_09 existe uma forte correlação entre as curvas de carga do alimentador e as curvas de geração solar fotovoltaica.

### 3. CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs uma nova abordagem para a priorização de alimentadores urbanos da rede de distribuição visando maximizar o benefício de sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica. Observou-se que os maiores picos de demanda estão associados a dias ensolarados e que agregam ao alimentador em questão uma parcela de geração solar fotovoltaica, percentual sempre presente quando necessário.

O FECC foi determinado para os alimentadores com perfil de demanda diurno das cidades de Florianópolis. Para certos alimentadores, elevados valores de FECC (superiores a 80%) foram obtidos mesmo para valores de Nível de Penetração superiores a 20%, comprovando que em regiões onde existe uma forte correlação entre demanda e disponibilidade solar, impulsionado principalmente pela utilização intensiva de aparelhos de ar-condicionado, a geração fotovoltaica pode efetivamente contribuir para o aumento da capacidade da rede elétrica.

Entretanto, o FECC nada sugere sobre o quão próximo ou distante o alimentador está trabalhando da sua capacidade nominal. Devido a esta limitação, foi definido um parâmetro adicional para auxílio à tomada de decisão,

relacionando a capacidade efetiva de um gerador fotovoltaico na redução do pico de demanda de um alimentador (FECC) com o Fator de Utilização do alimentador, sendo este novo parâmetro denominado Fator de Relevância. Outra abordagem apresentada é o emprego de indicadores de confiabilidade do fornecimento de energia através da análise dos parâmetros FV-LOLE e FV-LOLP.

Por fim, cabe ressaltar que o estudo visa identificar os alimentadores em que seria tecnicamente vantajosa, do ponto de vista da concessionária, a implantação de sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica, porém a decisão final depende de uma criteriosa análise econômica.

### **Agradecimentos**

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

### **REFERÊNCIAS**

- REN21, 2006. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables. Global Status Report. 2006 Update.
- Ovshinsky, S. R., 1994. The material basis of efficiency and stability in amorphous photovoltaics. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v.32, p.443-462.
- Rüther, R., 2004. Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligadas à Rede Elétrica Pública: LABSOLAR - Editora da UFSC. Florianópolis.
- Garver, L. L., 1966. Effective load carrying capability of generating units. *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*, v.8 Pas-85, August, p.910-919.
- Sullivan, R. L, 1977. *Power System Planning*: McGraw-Hill. USA.
- Perez, R., Seals, R., Herig, C., 1996. Photovoltaics can add capacity to the utility grid. NREL - National Renewable Energy Laboratory. Golden - CO.
- Kagan, N., Oliveira, C. C. B. D., Robba, E. J., 2005. *Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica*: Editora Edgard Blücher. São Paulo.
- Perez, R., Berkeiser, W., Stewart, R, 1989. Analysis of Lincoln center experimental data for investigation of photovoltaic peak load matching potential. Atmospheric Sciences Research Center. Albany.
- Braun, P., Jardim, C., Rüther, R, 2007. Análise da Contribuição Energética de Sistemas Fotovoltaicos Integrados em Edificações: Aeroporto Internacional de Florianópolis, um Estudo de Caso. In: IX Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído - ENCAC, 2007. Anais. Ouro Preto - MG.
- Knob, P., Rüther, R, 2006. Optimum Siting of Building-Integrated Photovoltaics in Urban Environments in Brazil: The Potential of PV in Assisting Day Time Peaking Feeders. In: 21<sup>st</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2006, . Proceedings of the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference. Munich, Alemanha : WIP - München 2006. Anais. Dresden - Alemanha, v.1. p. p. 127-130.

## **STRATEGIC SITTING OF GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN FEEDERS WITH DAYTIME DEMAND PEAK**

Since the 70s, Brazil is experiencing crisis and financial constraints periods in the electricity sector. Strategies to control the load curve, especially at peak times, should be priorities in that area. One alternative to displace that load is the use of photovoltaic generators (PV) connected to the power grid, thus spreading generation in the consumers' points. It is noticed daytime peak load is mainly due to the use of air conditioning and it happens precisely on cases in which the solar availability is high. The load curves for "daytime consumption" regions will be analyzed and compared with the photovoltaic generation capacity (PV). For that, it will be calculated the Effective Load-Carrying Capacity (ELCC) of PV systems connected to the grid, translating the capacity of PV plants to ensure the consumption supply for a given region analyzed. This capacity factor will be relevant if there is adequate solar radiation and increasing energy consumption, i.e., when there is the need for electric system expansion, mainly transmission and distribution. The analysis can be made for every region with availability of consumption and solar generation data. Studies will confirm, in the practice, the PV systems efficiency to reduce daytime peak load. This work aims to establish a methodology for identifying sites where PV generation can be applied with the maximum benefits.

**Key words:** photovoltaic systems connected to the grid, strategic positioning, demand peak reduction.