

ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS EM EDIFICAÇÕES: AEROPORTO INTERNACIONAL DE FLORIANÓPOLIS, UM ESTUDO DE CASO

Priscila Braun (1); Carolina da Silva Jardim (1); 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, (48)3721-5184, fax (48) 3721-5191.

e-mail:priscilab@labeee.ufsc.br

(2) LABSOLAR – Laboratório de Energia Solar, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Caixa Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Brasil, (48)3721-5184, fax (48) 3721-5191.

e-mail:ruther@mbox1.ufsc.br

RESUMO

Uma grande parte da demanda de energia elétrica de edificações comerciais é devida à utilização de equipamentos de condicionamento de ar. Tipicamente grandes, ensolarados e livres de sombreamento, os aeroportos aparecem como um grande potencial para a aplicação de sistemas solares fotovoltaicos. O Aeroporto Internacional de Florianópolis, por sua concepção e por localizar-se em uma região de clima subtropical, apresenta uma curva característica de consumo de energia elétrica com pico diurno, coincidindo a geração de energia solar fotovoltaica com o consumo de energia. O objetivo deste trabalho é determinar o percentual de redução de consumo de energia elétrica no Aeroporto Internacional de Florianópolis com a utilização de sistemas fotovoltaicos integrados à edificação. A metodologia aplicada no estudo compreende as fases de obtenção de informações sobre o consumo energético do aeroporto e de irradiação solar; o cálculo da geração fotovoltaica considerando a aplicação dos módulos fotovoltaicos em coberturas, fachadas e pátio do aeroporto e a fase de interpretação dos resultados numéricos relacionados ao potencial de geração elétrica. Os resultados obtidos demonstram que a integração dos sistemas fotovoltaicos em aeroportos poderia suprir em 100% o consumo de energia elétrica da edificação.

ABSTRACT

Electric power demand in commercial buildings is to a great extent due to the use of air conditioning. Airport buildings are typically large, isolated and free of shading, and have a great potential for the application of photovoltaic systems. The Florianópolis International Airport building, due to its architecture and energy demand patterns, and because it is situated in a subtropical climate region, presents peaks of solar availability and energy consumption happening at the same time because of the use of cooled air systems. The aim of this research is to quantify the potential impact in energy demand reduction in the Florianópolis International Airport with the use of building-integrated photovoltaic systems (BIPV). The methodology used in the study analyzes the phases of the airport energy consumption data and solar irradiation assessment; the calculation of the photovoltaic generation considering the application of the photovoltaic modules on rooftops, façades and airport ground areas and the phase of interpretation of the related numerical results related to the potential of electric generation. The results show that the integration of the photovoltaic systems in airports could supply the entire electric power consumption of the airport complex.

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, 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, foi de 54%.

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). Recentemente, um estudo comparando a integração de sistemas fotovoltaicos em edificações residenciais em Florianópolis, Brasília e Natal, mostrou que a geração fotovoltaica pode reduzir a demanda da rede (Ordenes *et al.*, 2006).

As construções aeroportuárias são tipicamente grandes e ensolaradas, livres de sombreamento; as fachadas e os telhados podem acomodar os módulos fotovoltaicos. Os aeroportos, por possuírem tal característica, aparecem como um grande potencial para a aplicação dos sistemas (Rüther e Braun, 2005). Edifícios aeroportuários são exemplos de aplicação ideal de sistemas fotovoltaicos interligados à rede, onde picos de geração solar e consumo são muitas vezes coincidentes com a utilização de sistemas de ar refrigerado.

2. OBJETIVOS

Através do estudo da integração de sistemas solar fotovoltaicos ao entorno construído do Aeroporto Internacional de Florianópolis, o presente artigo tem por objetivos, determinar o percentual de redução de consumo de energia elétrica e analisar o impacto da aplicação de sistemas fotovoltaicos de grande porte na rede de distribuição da concessionária elétrica onde está localizado o complexo aeroportuário.

3. METODOLOGIA

3.1 O Consumo Energético do Aeroporto Internacional de Florianópolis

Os dados de consumo de energia elétrica do Aeroporto Internacional de Florianópolis foram computados pela concessionária de energia elétrica local (CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina) e cedidos pela INFRAERO - Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária. A memória de massa fornece informações de demanda contabilizada em intervalos de 15 minutos entre cada medição. Os dados são referentes a um ano de medições e divididos em períodos conforme a Tabela 1.

A partir das informações de demanda em unidade de potência (kW) com intervalos horários (integral de 4 medições), é possível determinar o consumo energético da edificação. O consumo é fornecido na memória de massa dividido entre o consumo na ponta e fora da ponta. A Figura 1 mostra estes dados e o consumo de energia elétrica total do aeroporto. Para o período a ser analisado, o consumo total do complexo aeroportuário totalizou em 1.963.190 kWh, uma média de 163.599 kWh/mês. Observando a figura, é possível observar claramente o aumento da utilização de energia elétrica nos períodos mais quentes do ano.

3.2 Sistemas Solares Fotovoltaicos Utilizados

Para a análise de redução do consumo de energia elétrica do complexo aeroportuário, foram simulados quatro diferentes sistemas solares fotovoltaicos, constituindo assim, quatro cenários distintos. O

tamanho do sistema fotovoltaico com maior potência instalada foi determinado em função do consumo anual do aeroporto e calculado conforme equação a seguir:

$$P_{cc} = \left[\frac{C}{R \times 365} \right] / F \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde, P_{cc} = potência do sistema em corrente contínua (kW); C = consumo da edificação (kWh/ano); R = radiação local (kWh/m²/dia); F = coeficiente atribuído a perdas na transformação de corrente contínua para corrente alternada e perdas na condução de potência (0,8).

Tabela 1 – Períodos de medição de demanda da memória de massa do aeroporto

Período Registrado	Dias	Mês / Ano Adotado	Consumo Registrado (kWh)	Demanda Máxima Registrada (kW)
17/05/05 a 16/06/05	30	06/05	135.340	317
16/06/05 a 16/07/05	31	07/05	130.004	268
16/07/05 a 17/08/05	29	08/05	120.100	263
17/08/05 a 16/09/05	30	09/05	122.373	336
16/09/05 a 17/10/05	30	10/05	127.003	335
17/10/05 a 17/11/05	31	11/05	143.617	394
17/11/05 a 16/12/05	28	12/05	165.230	482
16/12/05 a 17/01/06	32	01/06	237.817	511
17/01/06 a 15/02/06	29	02/06	229.317	511
15/02/06 a 17/03/06	30	03/06	226.151	495
17/03/06 a 17/04/06	31	04/06	198.013	486
17/04/06 a 16/05/06	29	05/06	128.225	395
<i>média</i>			163.599	399

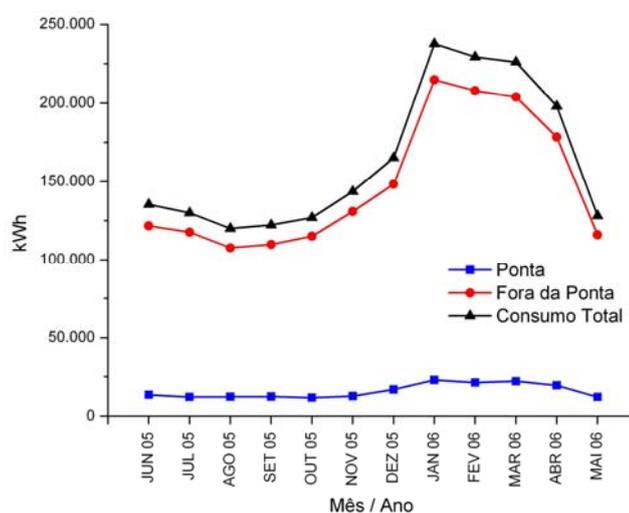


Figura 1 – Consumo mensal do Aeroporto Internacional de Florianópolis entre os meses de junho de 2005 e maio de 2006.

O Aeroporto Internacional de Florianópolis está localizado em uma região do país com uma média anual de radiação global horizontal entre 4500 a 4700 Wh/m² (Colle e Pereira, 1996). A radiação utilizada para o cálculo da potência dos sistemas foi a radiação média anual medida a partir de dados reais extraídos do banco de dados do primeiro sistema fotovoltaico instalado no Brasil (4,028 kWh).

O primeiro sistema fotovoltaico conectado à rede e integrado a um edifício do Brasil, foi instalado em 1997 pelo LABSOLAR (Rüther, 1998; Rüther e Dacoregio, 2000), que se especializou em ganhar

experiência em instalações deste porte, observando suas características de operação e manutenção em locais com sistema de geração distribuída no país. Com potência de 2kW, composto por módulos solares fotovoltaicos de silício amorfo e cobrindo aproximadamente 40m² de área, o sistema é monitorado com sensores de radiação solar, temperatura e parâmetros elétricos medidos em intervalos de quatro minutos (Rüther *et al.*, 2005).

Para a edificação do aeroporto internacional de Florianópolis ter seu consumo anual de energia elétrica atendido por energia solar, o cálculo teve como resultado a necessidade de se instalar um sistema solar fotovoltaico de 1.670 kW de potência. Neste trabalho também foram simulados outros três portes de sistemas, adotando frações de 67%, 50% e 33% do sistema de maior potência, resultando em 1.113 kW, 835 kW, 557 kW respectivamente.

3.3 Cálculo da Geração Solar Fotovoltaica

A partir dos dados reais de radiação solar para o mesmo período da memória de massa do aeroporto e a potência dos sistemas previamente determinada, a geração solar fotovoltaica para os quatro sistemas simulados é calculada conforme a equação:

$$G = P_{cc} \times R \times F \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde, G = geração solar fotovoltaica (kWh); P_{cc} = potência do sistema em corrente contínua (kW); R = radiação local (kWh/m²); F = coeficiente atribuído a perdas na transformação de corrente contínua para corrente alternada e perdas na condução de potência (0,8).

3.4 A Rede de Distribuição na Região do Aeroporto: o Alimentador ISL_05

O Aeroporto Internacional de Florianópolis está inserido na rede de distribuição de energia elétrica e é abastecido pelo alimentador ISL_05, derivado da subestação ISL (Ilha Sul) localizada na região sul da ilha de Florianópolis. Essa região possui como principal classe de consumidores a classe B, ou seja, a carga é principalmente residencial, tornando o perfil de demanda deste alimentador noturno como mostra a Figura 2.

3.5 A Relação entre Nível de Penetração (NP) e Nível de Penetração Energético (NPE)

A influência da energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição de energia elétrica pode ser analisada através de um coeficiente adimensional (α) calculado a partir da relação entre o percentual da potência instalada e o percentual da energia injetada no alimentador onde foram conectados os sistemas fotovoltaicos.

Inicialmente calcula-se o percentual do pico de demanda do alimentador que será atendido pelo gerador solar fotovoltaico, denominado nível de penetração (NP¹) (Jardim *et al.*, 2003), com o objetivo de analisar o impacto de diferentes potências de sistemas fotovoltaicos instalados na rede de distribuição. Posteriormente é calculado o nível de penetração energético (NPE) que representa o percentual de energia injetada mensalmente e/ou anualmente, de acordo com os picos de demanda correspondentes.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Ao analisarmos o perfil de carregamento do alimentador do aeroporto e compararmos ao perfil de carregamento do complexo aeroportuário, observamos uma participação significativa no total de potência demandada pelo alimentador, em média, 11%. A Figura 3 mostra a comparação.

Esta constatação esclarece a importância do estudo do impacto da utilização de sistemas solares fotovoltaicos de grande porte como geração distribuída. Uma vez que a introdução dessa energia pode funcionar como carga negativa, aliviando o carregamento da rede de distribuição na qual está inserido o aeroporto.

¹ Definido como o valor percentual da potência fotovoltaica instalada em relação ao valor máximo de demanda a ser suprida.

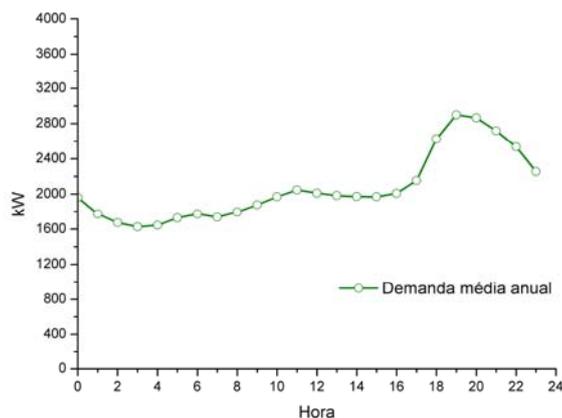


Figura 2 – Perfil de demanda anual do alimentador ISL_05.

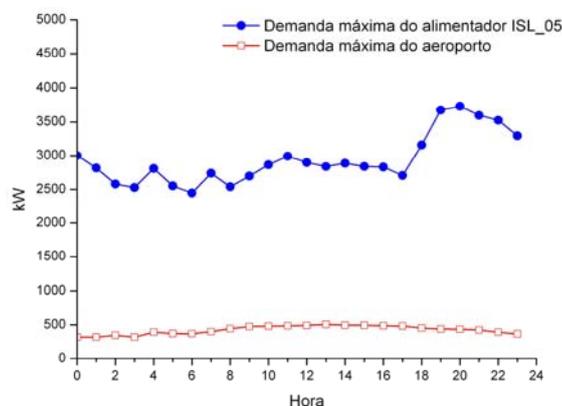


Figura 3 – Comparação entre demandas máximas do alimentador ISL_05 e do aeroporto no período considerado.

4.1 A Influência da Temperatura no Consumo de Energia Elétrica

O Aeroporto Internacional de Florianópolis possui curva característica de carregamento diurna, sendo das 10 às 16h, aproximadamente, as horas de maior demanda. A Figura 4 mostra as demandas média, máxima e mínima anuais do complexo aeroportuário.

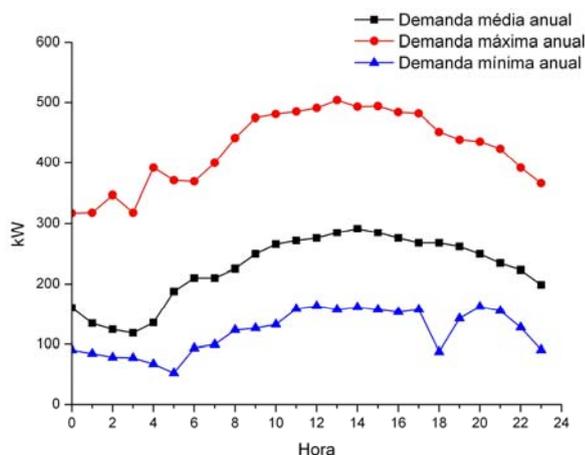


Figura 4 – Perfil de demanda anual do complexo aeroportuário.

Na tentativa de determinar a razão do aumento de demanda no período anteriormente citado, os números de consumo do aeroporto foram plotados em gráficos de potência versus hora para cada

período de medição. A partir de dados de temperatura horários, fez-se a correlação entre o aumento do consumo de energia elétrica com o aumento da temperatura.

A Figura 5 mostra o resultado da correlação. Para cada hora com temperatura igual ou superior à temperatura de análise (*Setpoint*) de 25°C, a correspondente demanda foi selecionada (na figura, os pontos cheios). Os horários com maior demanda foram selecionados, e nos meses com média de temperatura mais elevadas, outros horários também foram selecionados, em sua maioria, as maiores demandas correspondentes. Como a edificação utiliza condicionadores de ar, conclui-se que o aumento da demanda de energia, deve-se à utilização desses equipamentos.

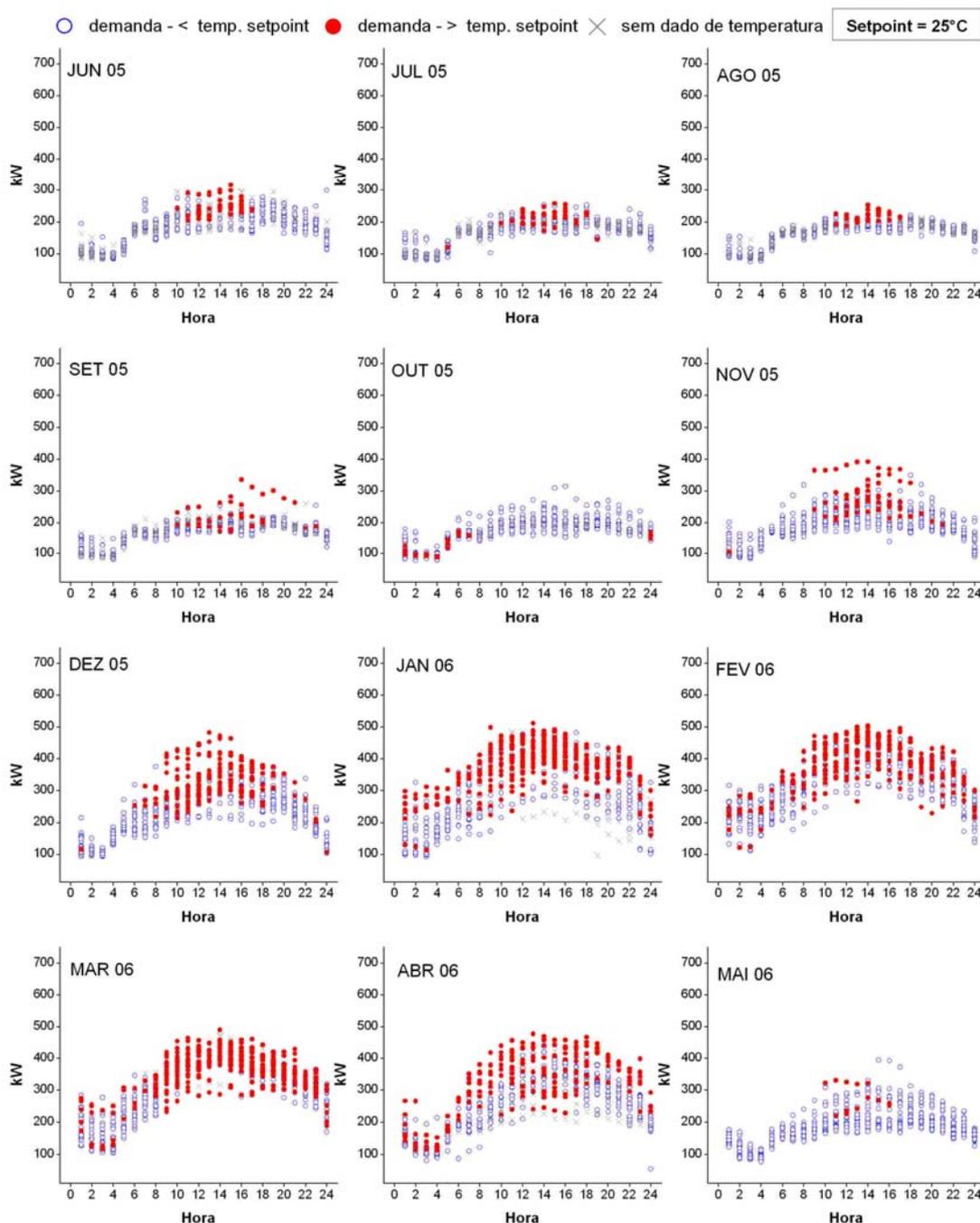


Figura 5 – A influência da temperatura no consumo de energia elétrica.

4.2 A Geração Solar Foltovoltaica versus Consumo de Energia Elétrica

Para cada período analisado foi determinada a geração solar fotovoltaica para cada cenário de potência do gerador solar simulado. Os resultados foram confrontados com o consumo de energia elétrica do

complexo aeroportuário como mostra a Figura 6. Analisando os gráficos é possível observar que nos horários de maior demanda, coincidente com os horários de maior geração, as demandas são supridas pelos geradores para todos os cenários aplicados, com exceção do sistema de 557 kW, que apresenta uma potência instalada igual a 1/3 do pico histórico de consumo do aeroporto.

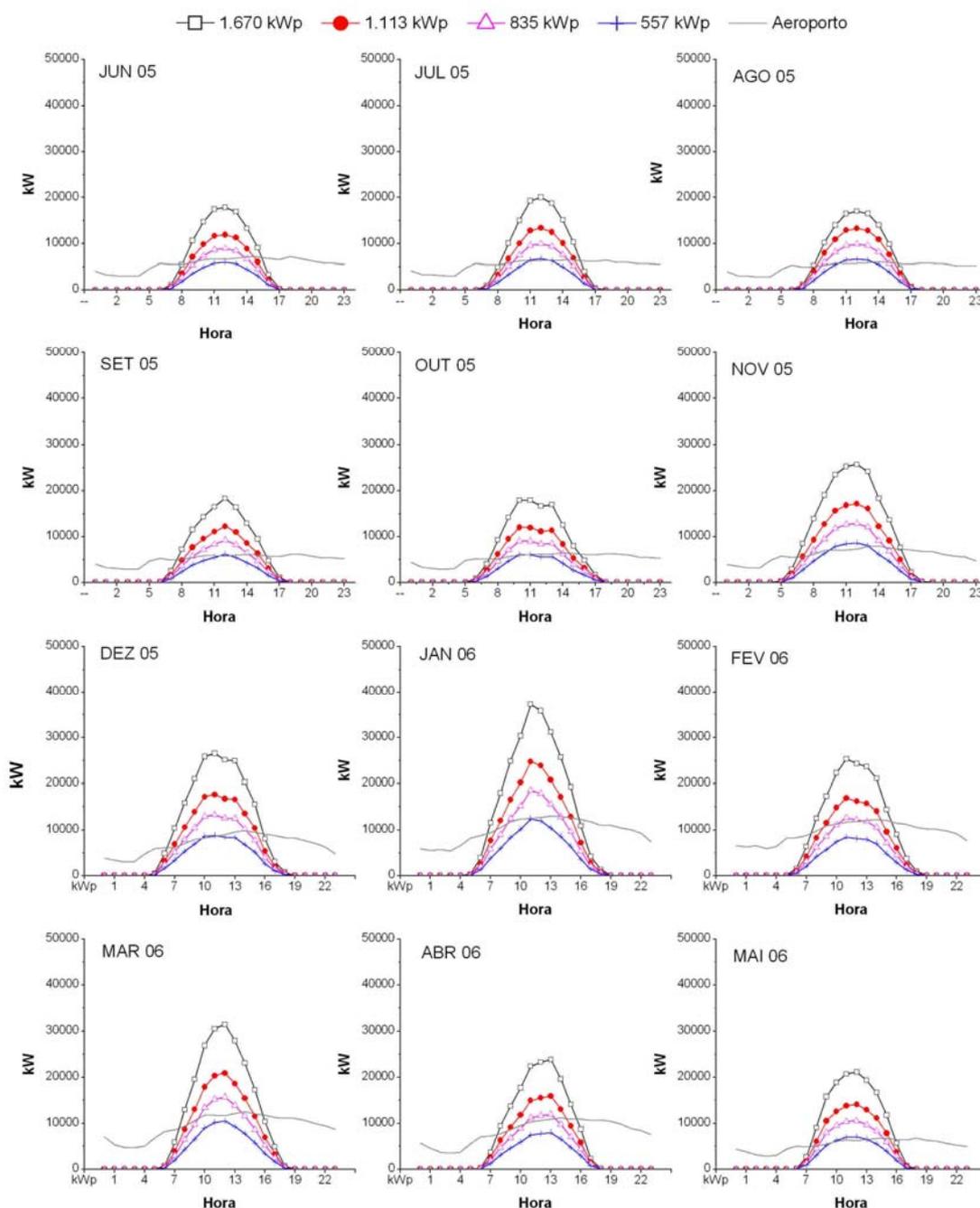


Figura 6 – Geração solar fotovoltaica para os quatro cenários de potência instalada e consumo energético do aeroporto.

Os percentuais do consumo mensal suprido pelos sistemas solares fotovoltaicos foram calculados para cada período. A Figura 7 mostra os resultados. Analisando a figura é possível observar que os três maiores cenários de potência instalada suprem o consumo do complexo aeroportuário entre 40 e 100% e que o sistema de maior potência, em quatro períodos do ano supera os 100%. Esse excedente de produção pode ser injetado na rede elétrica pública, sendo consumido por instalações vizinhas ao aeroporto e diminuindo a demanda do alimentador ISL_05.

4.3 A Influência da Energia Gerada pelos Sistemas Fotovoltaicos no Alimentador ISL_05

A partir do pico de demanda histórico do alimentador ISL_05 (3733,54 kW) foram calculadas diferentes potências instaladas correlacionadas com o nível de penetração, determinando os níveis de penetração energéticos correspondentes. A Tabela 2 mostra os valores obtidos.

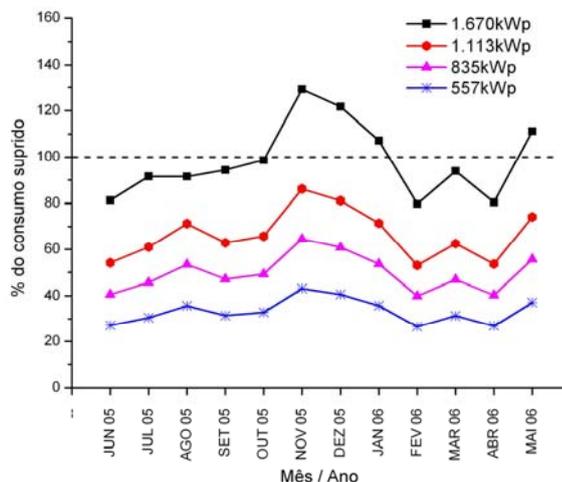


Figura 7 – Percentual do consumo suprido pela geração solar fotovoltaica para os quatro cenários de potência instalada.

Tabela 2 – Níveis de Penetração e Níveis de Penetração Energético

NP	kW	NPE	NP	kW	NPE	NP	kW	NPE	NP	kW	NPE
1%	37,3	0,24%	14%	522,7	3,43%	27%	1008,1	6,61%	40%	1493,4	9,80%
2%	74,7	0,49%	15%	560,0	3,67%	28%	1045,4	6,86%	41%	1530,8	10,04%
3%	112,0	0,73%	16%	597,4	3,92%	29%	1082,7	7,10%	42%	1568,1	10,29%
4%	149,3	0,98%	17%	634,7	4,16%	30%	1120,1	7,35%	43%	1605,4	10,53%
5%	186,7	1,22%	18%	672,0	4,41%	31%	1157,4	7,59%	44%	1642,8	10,78%
6%	224,0	1,47%	19%	709,4	4,65%	32%	1194,7	7,84%	45%	1680,1	11,02%
7%	261,3	1,71%	20%	746,7	4,90%	33%	1232,1	8,08%	46%	1717,4	11,27%
8%	298,7	1,96%	21%	784,0	5,14%	34%	1269,4	8,33%	47%	1754,8	11,51%
9%	336,0	2,20%	22%	821,4	5,39%	35%	1306,7	8,57%	48%	1792,1	11,76%
10%	373,4	2,45%	23%	858,7	5,63%	36%	1344,1	8,82%	49%	1829,4	12,00%
11%	410,7	2,69%	24%	896,0	5,88%	37%	1381,4	9,06%	50%	1866,8	12,25%
12%	448,0	2,94%	25%	933,4	6,12%	38%	1418,7	9,31%			
13%	485,4	3,18%	26%	970,7	6,37%	39%	1456,1	9,55%			

Valores grifados correspondem aos cenários de potência instalada propostos.

Analisando os resultados e correlacionando com os cenários de potência instalada no aeroporto propostos neste trabalho (níveis de penetração no alimentador ISL_05 de 45%, 30%, 22% e 15%), observa-se que com uma potência instalada de 1.670 kW, aproximadamente 11% da energia total do alimentador é proveniente do sistema solar fotovoltaico, atuando neste caso como um exemplo de geração distribuída.

Para analisar a influência da energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição de energia elétrica, foram calculados os coeficientes α a partir do pico de demanda de cada período de medição da memória de massa do aeroporto. Na Tabela 3 é apresentada a relação entre o nível de penetração aplicado com o nível de penetração energético (α) para cada período estudado e a média anual.

Os coeficientes calculados mostram que nos meses de maior incidência solar, o coeficiente alfa é menor do que nos meses com baixa incidência de radiação solar. Isto se deve ao fato de que a geração de energia elétrica é maior, afetando diretamente o nível de penetração energético, aumentando-o. Esse aumento de produção faz com que mais energia seja injetada na rede de distribuição, aliviando o alimentador.

Com o aumento da demanda de energia elétrica nos meses de maior radiação solar, devido à utilização de equipamentos de ar refrigerado, o nível de penetração energético tende a diminuir, pois maior será a demanda a ser suprida pelos sistemas fotovoltaicos. Entretanto, na análise realizada, o coeficiente alfa permaneceu inferior aos demais meses do período estudado, o que mostra a preponderância da geração solar fotovoltaica.

Tabela 3 – Coeficiente α correspondente a cada período da memória de massa.

Mês / Ano	α (NP/NPE)
JUN 05	6,657
JUL 05	6,638
AGO 05	5,216
SET 05	6,648
OUT 05	5,869
NOV 05	4,311
DEZ 05	3,385
JAN 06	2,586
FEV 06	4,147
MAR 06	3,784
ABR 06	5,069
MAI 06	5,160
Anual	4,080

4.4 A Integração de Sistemas Fotovoltaicos: O Novo Aeroporto Internacional de Florianópolis

A integração de módulos solares fotovoltaicos em edificações aeroportuárias é uma das mais ideais aplicações desta tecnologia. Pequenas inclinações das coberturas dos aeroportos favorecem a integração dos sistemas. O envoltório desse tipo de edificação, muitas vezes, utiliza brises para evitar a radiação solar direta, fazendo com que a integração seja ainda mais ideal. Pátios de aeroportos são suficientemente grandes para acomodar arranjos isolados fotovoltaicos, que podem em alguns casos, ser usados para desviar ruídos dos terminais de passageiros (Rüther e Braun, 2005). A Figura 8 mostra o projeto do novo Aeroporto Internacional de Florianópolis, ideal para incorporar módulos fotovoltaicos.

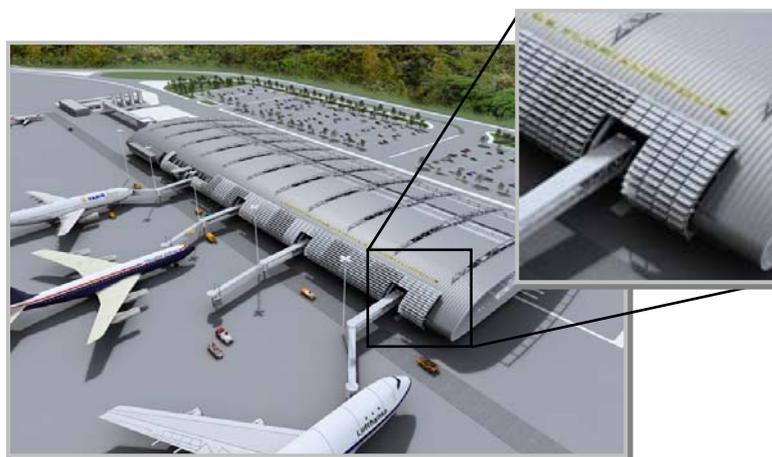


Figura 8 – Projeto do novo Aeroporto Internacional de Florianópolis. Fonte: INFRAERO

5. CONCLUSÕES

Complexos aeroportuários possuem grandes demanda energética devido à utilização de equipamentos de ar refrigerado. No caso do aeroporto estudado, a participação na demanda total do alimentador da rede de distribuição de energia elétrica é significativa (11% em média), tornando o complexo um importante ponto potencial de geração distribuída quando sistemas fotovoltaicos são instalados para suprir consumo energético.

A coincidência temporal entre geração e consumo foi comprovada, tornando a aplicação desse tipo de tecnologia ideal no aeroporto estudado. O correto dimensionamento pode suprir o consumo nas horas de maior demanda e ainda gerar excedente de produção. Esse excedente pode ser injetado na rede elétrica pública, sendo consumido por instalações vizinhas ao aeroporto e diminuindo a demanda do alimentador. No estudo, os três portes maiores de sistema fotovoltaico simulados podem suprir o consumo do Aeroporto Internacional de Florianópolis em torno de 40 a 100%.

A influência da energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição de energia elétrica, foi determinada em função da demanda da edificação e da radiação solar disponível. Nos meses de maior incidência solar, a contribuição da geração fotovoltaica no alimentador é maior apesar do aumento da demanda da edificação. A implementação desse tipo de geração pode ocasionar o adiamento do investimento necessário para reforçar o sistema de distribuição, aumentando a confiabilidade do sistema elétrico. A geração fotovoltaica pode ainda diminuir os impactos ambientais e diversificar a matriz energética.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

JARDIM, C. S.; KNOB, P.; RÜTHER, R. Study of Photovoltaic Potential in Urban Areas with Daytime Load Peaks. In: PLEA 2003 - 20th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2003. **Anais**. Chile : Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2003.v.1. p. 423-428.

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.

ORDENES, M.; MARINOSKI, D. L.; BRAUN, P.; RÜTHER, R. The impact of building-integrated photovoltaics on the energy demand of multi-family dwellings in Brazil. **Energy & Buildings**, 2006. doi:10.1016/j.enbuild.2006.10.006

RÜTHER, R. Experiences and Operational Results of the First Grid - Connected, Building - Integrated, Thin Film Photovoltaic Installation in Brazil. In: 2nd World Conference and Exhibition of Photovoltaic Solar Energy Conversion, 1998. **Anais**. Vienna, Austria: Proceedings of the 2nd World Conference and Exhibition of Photovoltaic Solar Energy Conversion, 1998.v.p. 2655-2658.

_____. **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.; BRAUN, P. Solar Airports. **Refocus**, Inglaterra, p.30-34, July/August, 2005.

RÜTHER, R.; DACOREGIO, M. Performance Assessment of a 2kW Grid-Connected Building Integrated, Amorphous Silicon Photovoltaic Installation in Brazil. **Progress in Photovoltaic: research and application**, v.7, p.257-266, 2000.

RÜTHER, R.; DACOREGIO, M.; JARDIM, C. D. S.; RICARDO, R. W.; REGUSE, W.; KNOB, P.; SALAMONI, I.; DINIZ, A. S. A. C. **Grid-Connected Photovoltaics in Brazil**: ISES - International Solar Energy Society. ISES 2005 Solar World Congress. Orlando, Flórida, 2005.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro durante o período de desenvolvimento deste trabalho e à INFRAERO e CELESC pelo apoio à pesquisa realizada.