

IMPACTOS SOBRE A DEMANDA E CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADA À REDE ELÉTRICA

Gustavo Xavier de Andrade Pinto – gustavo_xavier3@hotmail.com

Helena Flávia Napolini – helena@eel.ufsc.br

Ricardo Rütther – ricardo.ruther@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina

Campus Universitário Trindade, Caixa Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900

Resumo. Este trabalho apresenta um método para avaliar a contribuição energética e os impactos da geração solar fotovoltaica sobre a demanda elétrica de uma unidade consumidora constituída por várias edificações localizadas no Campus da Trindade da Universidade Federal de Santa Catarina, a partir de técnicas de medição e verificação da demanda da mesma e da energia gerada por um sistema solar fotovoltaico conectado em sua rede elétrica. Os resultados mostram que a unidade consumidora apresentou, em 2011, consumo energético de 15.235 MWh e demanda máxima de 6.013 kW. No mesmo período, foi simulada a injeção de potência e a contribuição energética de um sistema fotovoltaico de 1 MWp conectado à sua rede elétrica. Os resultados mostram que o sistema fotovoltaico simulado teria gerado aproximadamente 1.118 MWh e injetado na rede elétrica, no horário de ocorrência da demanda máxima, aproximadamente 180 kW. No período analisado, o gerador fotovoltaico de 1 MWp teria contribuído com aproximadamente 7,4 % do consumo total de energia elétrica da unidade consumidora e reduzido sua demanda máxima em aproximadamente 3 %.

Palavras-chave: Energia solar, Energia solar fotovoltaica, Redução da demanda.

1. INTRODUÇÃO

Devido à sua grande área e níveis elevados de irradiação solar com pequena variabilidade anual, o Brasil apresenta um grande potencial para todas as aplicações de conversão de energia solar. Desde o sul até o nordeste do país, os níveis de irradiação solar média diária variam de 4,2 kWh/m² a 5,9 kWh/m² (Pereira *et al.*, 2006), e até mesmo o clima mais temperado da região Sul apresenta potencial econômico e técnico (Goldemberg *et al.*, 2004; Rosa e Lomardo, 2004; Carlo e Lamberts, 2008). Os níveis de irradiação solar são muito afetados pelas núvens (Piacentini *et al.*, 2011; Piedechierro *et al.*, 2014; Tapakis e Charalambides, 2014; Andrade e Tiba, 2015).

A integração da energia solar fotovoltaica à edificação é uma grande alternativa para reduzir o consumo de energia elétrica da mesma e o Brasil tem as condições necessárias para aproveitar tais tecnologias (Rütther e Zilles, 2011). As edificações são os maiores consumidores de eletricidade em regiões de climas quentes (Rezaie *et al.*, 2013, Lam *et al.*, 2004; Kapsomenakis *et al.*, 2013). O aumento da temperatura ambiente contribui para o aumento das cargas de ar condicionado e conseqüentemente para o acréscimo da energia consumida pela edificação.

O gerenciamento da energia elétrica de uma edificação com o objetivo de reduzir sua demanda pode ser realizado através da utilização de sistemas elétricos de alta eficiência, aplicações de energias renováveis, armazenamento de energia térmica, programa de incentivo aos consumidores e otimização dos sistemas de ar condicionado (Sozer, 2010; Mahila e Saidur, 2010; Lam *et al.*, 2008; Hasnain *et al.*, 2009; Rezaie e Rosen, 2012; Braun e Rütther, 2010; Zhao *et al.*, 2011; Transue & Felder, 2010; Alcázar-Ortega *et al.*, 2011; Al-Mulla *et al.*, 2013; Escrivã-Escrivã, 2011).

Estudos demonstram que a utilização de energias renováveis apresenta ótimas soluções sustentáveis para campi universitários (Yarbrough *et al.*, 2015, Kalkan *et al.*, 2011). Dentro desta linha de pesquisa e para avaliar o desempenho da tecnologia solar fotovoltaica, foi instalado em setembro de 1997, na Universidade Federal de Santa Catarina, o primeiro sistema fotovoltaico do Brasil integrado à arquitetura e interligado à rede elétrica. Tal sistema, com potência instalada de 2,015 kWp, foi composto por módulos fotovoltaicos de silício amorfo distribuídos em 5 strings com 13 módulos cada, orientado para o norte geográfico, com um desvio de 6° para o leste (Rütther e Dacoregio, 2000).

2. METODOLOGIA

Este trabalho apresenta um método para avaliar a contribuição energética e os impactos da geração solar fotovoltaica sobre a demanda elétrica de uma unidade consumidora, a partir de técnicas de medição e verificação da demanda da mesma e da energia gerada por um sistema solar fotovoltaico conectado em sua rede elétrica.

Os dados de demanda elétrica da unidade consumidora foram registrados em intervalos de 5 minutos, durante o ano de 2011, pelo medidor de energia elétrica instalado pela concessionária de energia elétrica local (Celesc) no Campus da Trindade da Universidade Federal de Santa Catarina, localizado em Florianópolis (48° W, 27° S). As medições de demanda contemplam todas as edificações localizadas no Campus Universitário da Trindade, exceto as

edificações que abrigam o Hospital Universitário e o prédio da Engenharia Civil, ambos com medições individuais. Em 2011, os dados da energia gerada pelo sistema fotovoltaico foram registrados, em intervalos de 5 minutos, pelo datalogger SMA Sunny Webbox do sistema de 2 kWp também instalado no Campus da Trindade da UFSC.

Para avaliar o recurso solar no Campus da Trindade – UFSC em 2011, a metodologia adotada consistiu em levantar, a evolução mensal da irradiação solar média diária no plano horizontal e da temperatura ambiente média diária, através de dados de irradiância no plano horizontal e de temperatura ambiente registrados, em intervalos de 5 minutos, pelo datalogger SMA Sunny Webbox do sistema de 2 kWp descrito.

A Eq. (1) apresenta a irradiação solar horizontal no local de inserção da unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos.

$$Irr = Ir \cdot \frac{5}{60} \quad (1)$$

onde:

Irr = Irradiação solar horizontal, expressa em Wh/m²;

Ir = Irradiância no plano horizontal, expressa em W/m².

A irradiação solar horizontal, no intervalo de tempo especificado, pode ser obtida pela soma das irradiações solares horizontais calculadas a cada intervalo de 5 minutos, integrante do intervalo de tempo especificado.

Os valores de irradiação solar média diária no plano horizontal, obtidos para o Campus da Trindade-UFSC no ano de 2011, foram comparados com valores médios diários de irradiação solar horizontal para Florianópolis, oriundos dos bancos de dados da NASA (<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>), da NREL (<https://www.data.gov/>), do INPE/Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (<http://en.openei.org/datasets/>) e das médias dos dados medidos no período compreendido ente 2009 e 2013. Os valores de temperatura ambiente média diária, obtidos para o Campus da Trindade-UFSC no ano de 2011, foram comparados com dados de temperatura média diária oriundos da NASA, INMET (<http://www.inmet.gov.br/>) e das médias dos dados medidos no período compreendido entre 2009 e 2013.

Para os 12 meses do ano de 2011, foram levantadas as curvas (diárias, mensais e anual) tanto da demanda elétrica da unidade consumidora como da temperatura ambiente, em intervalos de 5 minutos. Através das curvas mensais de demanda e de temperatura, foram identificadas as demandas máximas e as correspondentes temperaturas, datas e horários de ocorrência. Adicionalmente, foi identificada a demanda máxima que ocorreu no ano de 2011. A definição de demanda, adotada neste trabalho, consiste na média das potências ativas solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de 5 minutos.

A Eq. (2) apresenta a energia elétrica consumida, em intervalos de 5 minutos.

$$E = D \cdot \frac{5}{60} \quad (2)$$

onde:

E = Energia elétrica consumida, em intervalos de 5 minutos, expressa em kWh;

D = Demanda elétrica, em intervalos de 5 minutos, expressa em kW.

A energia elétrica consumida, no intervalo de tempo especificado, pode ser obtida pela soma das energias calculadas a cada intervalo de 5 minutos, integrante do intervalo de tempo especificado.

A Eq. (3) apresenta a potência fotovoltaica média injetada na rede elétrica da unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos.

$$P_{FV} = E_{FV} \cdot \frac{60}{5} \quad (3)$$

onde:

P_{FV} = Potência fotovoltaica média injetada na rede, em intervalos de 5 minutos, expressa em kW;

E_{FV} = Energia fotovoltaica gerada, em intervalos de 5 minutos, expressa em kWh.

3. RESULTADOS

Os dados foram explorados e as simulações realizadas através do programa XNSolar 1.0 (Pinto *et al.*, 2015). O programa, desenvolvido especialmente para o gerenciamento da energia solar fotovoltaica, consiste de uma pasta de trabalho do Microsoft Excel e compõe-se de diversas planilhas. A sequência de entrada de dados, a comunicação entre as planilhas (elaboradas em Visual Basic) e o *userform* são executados através de controles que ativam sub-rotinas (Macros).

A Fig. 1 apresenta a evolução mensal da irradiação solar global horizontal média diária medida no Campus da Trindade - UFSC no ano de 2011, a evolução mensal da irradiação solar global horizontal média diária medida no

Campus da Trindade - UFSC no período compreendido entre 2009 e 2013 e a evolução mensal da irradiação solar global horizontal média diária para Florianópolis, obtida através de dados oriundos do INPE, NREL e NASA.

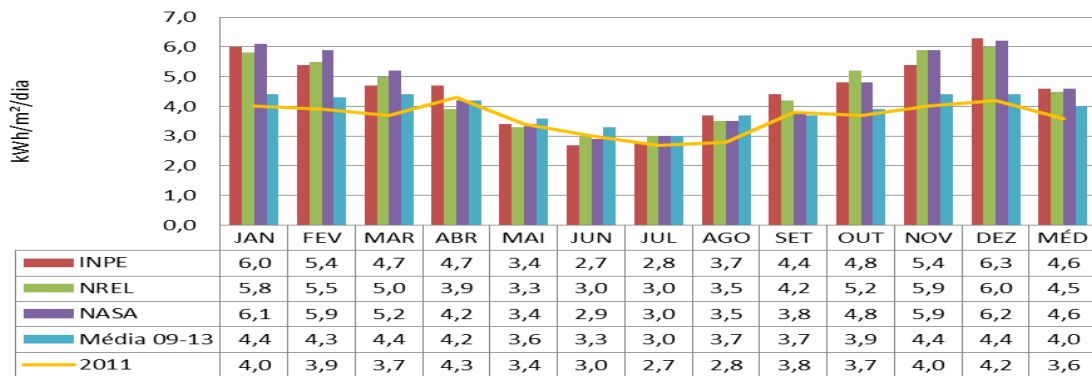


Figura 1 – Evolução mensal da irradiação solar média diária no plano horizontal.

Os resultados mostram que a irradiação solar global horizontal média diária foi de 3,6 kWh/m² (2011), 4,0 kWh/m² (média 2009-2013), 4,6 kWh/m² (NASA), 4,5 kWh/m² (NREL) e 4,6 kWh/m² (INPE). É possível perceber que para os meses de verão e primavera existe uma diferença entre os dados medidos e os dados oriundos do banco de dados do INPE, NASA e NREL. Nos meses de outono e inverno as diferenças são menos acentuadas.

A Fig. 2 apresenta a evolução mensal da temperatura ambiente média diária medida no Campus da Trindade - UFSC no ano de 2011, a evolução mensal da temperatura ambiente média diária medida no Campus da Trindade - UFSC no período compreendido entre 2009 e 2013 e a evolução mensal da temperatura ambiente média diária para Florianópolis, obtida através do banco de dados do INMET e da NASA.

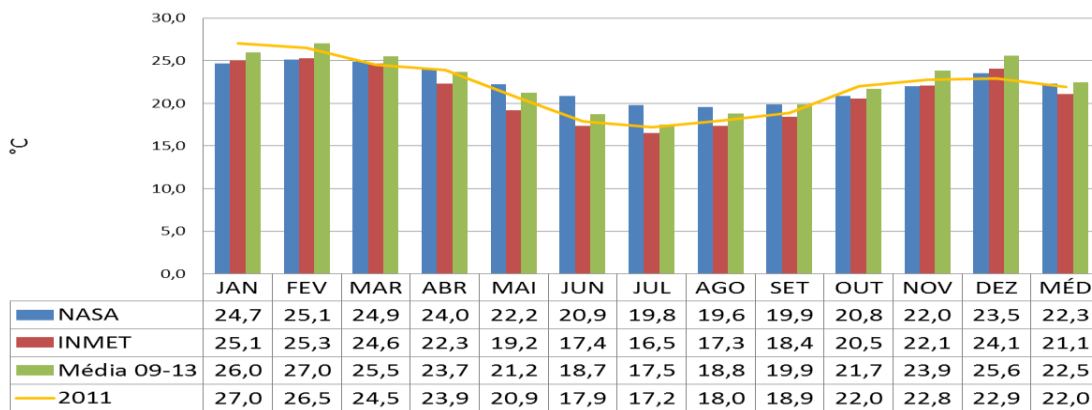


Figura 2 – Evolução mensal da temperatura ambiente média diária.

Os resultados mostram que a temperatura ambiente média diária foi de 22 °C (2011), 22,5 °C (média 2009-2013), 21,1°C (INMET) e 22,3 °C (NASA).

A Fig. 3 apresenta, para os 12 meses do ano de 2011, a demanda elétrica da unidade consumidora e a temperatura ambiente em Florianópolis, em intervalos de 5 minutos. A Tab. 1 destaca as demandas máximas mensais com as respectivas datas e horários de ocorrência. Adicionalmente, apresenta a temperatura ambiente no horário de ocorrência da máxima demanda.

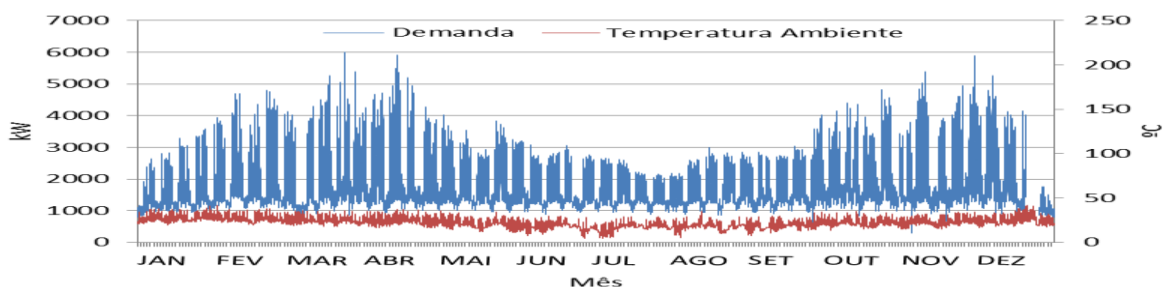


Figura 3 – Evolução mensal da demanda e da temperatura ambiente.

No Campus Trindade da UFSC o consumo de energia elétrica constitui-se basicamente de condicionamento ambiental e iluminação. Embora com elevada temperatura, o mês de janeiro apresentou baixo valor de demanda máxima devido ao recesso escolar. Março, abril, novembro e dezembro apresentaram valores elevados de temperatura e de demanda. No dia 24 de março às 15:50 horas, foi registrada a ocorrência da máxima demanda (6.013 kW) no ano de 2011.

Tabela 1 – Demandas máximas mensais com respectivas datas, horários de ocorrência e temperatura ambiente - 2011.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Dia	31	21	24	14	2	2	6	16	30	24	30	7
Hora	14:00	14:40	15:50	14:10	15:20	16:20	15:10	16:10	14:30	15:45	14:55	14:55
Tamb (°C)	33,9	37,2	30,7	35,1	30,1	23,7	21,1	25,9	30,7	26,8	32,0	29,0
Dmáx(kW)	3.732	4.795	6.013	5.910	4.018	3.214	2.670	3.007	4.018	4.821	5.884	5.262

Este trabalho adota 23 °C como temperatura de referência para o conforto térmico em Florianópolis (NBR 16401-2, 2008). A partir desta temperatura, porção significativa da demanda elétrica da UFSC é resultado direto da crescente demanda por conforto térmico, e consequentemente pelo aumento da concentração da carga em operação dos sistemas de ar condicionado.

A Fig. 4 apresenta, para o dia 24 de março de 2011, a evolução da demanda, em intervalos de 5 minutos. Em vermelho destaca-se a ocorrência simultânea de valores de demanda da unidade consumidora e valores de temperatura ambiente iguais ou superiores a 23 °C.

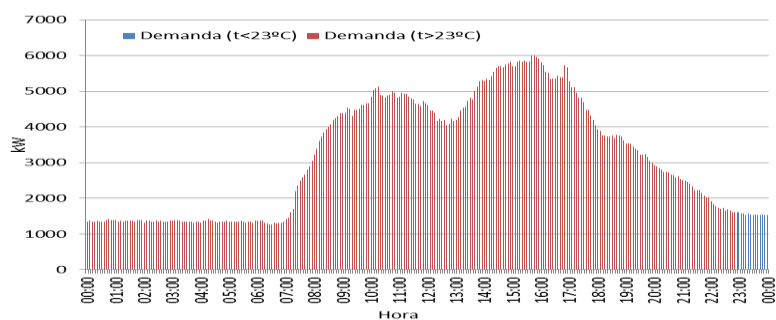


Figura 4 – Evolução da demanda – 24/03/2011.

Os resultados mostram baixa demanda (aproximadamente 1.000 kW) para o período compreendido entre 00:00 e 7:30 horas. A curva de demanda apresenta um pico de aproximadamente 5.000 kW às 10:00 horas seguido por um vale no período compreendido entre 11:30 e 13:30 horas (horário do almoço). No período vespertino, a partir das 13:30 horas a demanda aumenta continuamente até alcançar seu pico (6.013 kW) às 15:50 horas. No período noturno, embora ainda com atividades sendo desenvolvidas, a demanda da UFSC diminui consideravelmente.

A Fig. 5 apresenta, para os dias de máxima demanda dos meses de março, abril, novembro e dezembro (meses de altas temperaturas e altas demandas), a correlação entre a demanda da unidade consumidora e a temperatura ambiente.

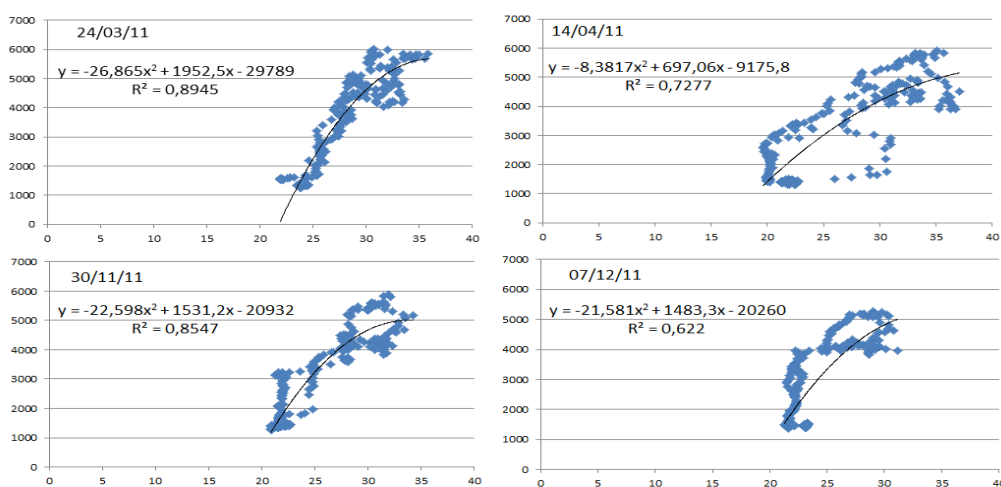


Figura 5 – Correlação entre demanda e temperatura ambiente.

Os resultados mostram a forte correlação entre a demanda da unidade consumidora e a temperatura ambiente,

facilmente justificável pela grande parcela de carga de ar condicionado em operação.

A Fig. 6 apresenta, para o Campus da Trindade - UFSC no ano de 2011, a evolução mensal da energia consumida.

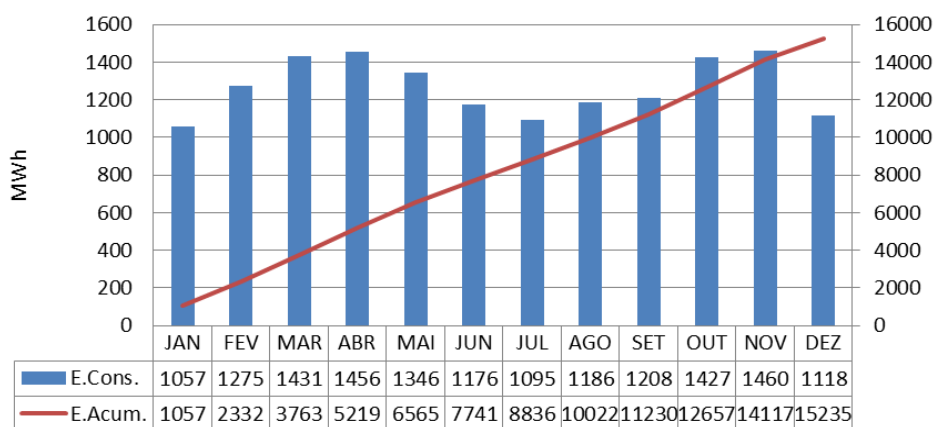


Figura 6 – Evolução mensal da energia consumida e energia consumida acumulada.

Os resultados mostram elevados consumos de energia elétrica principalmente nos meses de março, abril, outubro e novembro. O maior consumo de energia elétrica (1.460 MWh) ocorreu no mês de novembro e o menor consumo (1.057 MWh) foi verificado em janeiro. No ano de 2011, a energia total consumida foi de 15.235 MWh.

Para analisar os impactos sobre a demanda e a contribuição energética de uma usina fotovoltaica de 1MWp conectada à rede elétrica da unidade consumidora, foi aplicado sobre os dados de energia elétrica registrados nos 12 meses de 2011, em intervalos de 5 minutos, pelo datalogger SMA Sunny Webbox do gerador solar fotovoltaico de 2 kWp anteriormente descrito, o fator de multiplicação de 500. A usina fotovoltaica de 1MWp simulada consiste de uma simples ampliação do sistema de 2kWp instalado no Campus da Trindade da UFSC.

A Fig. 7 apresenta, para os 12 meses do ano de 2011, a potência fotovoltaica injetada na rede elétrica da unidade consumidora por uma usina solar hipotética de 1 MWp (com base na usina real de 2 kWp x o fator de 500) e a irradiância no Campus Trindade da UFSC, em intervalos de 5 minutos.

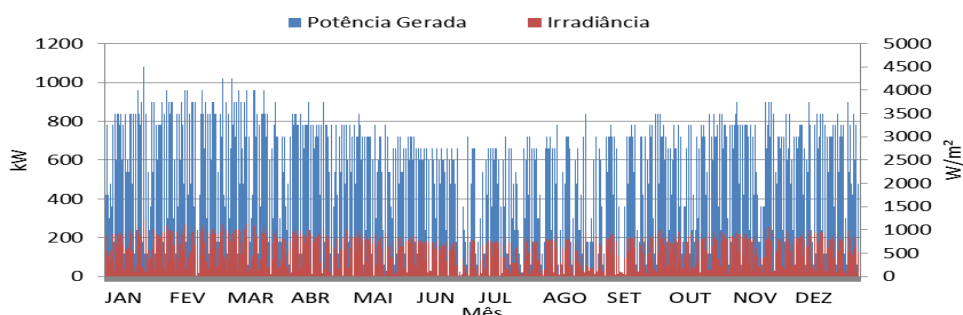


Figura 7 - Potência fotovoltaica gerada pela usina fotovoltaica de 1MWp e Irradiância.

Os resultados mostram que os períodos de maior injeção fotovoltaica da usina de 1MWp na rede elétrica ocorrem nos meses de maior irradiação solar e consequentemente com registros das maiores temperaturas ambiente. Para a resolução temporal da técnica de medição da energia solar fotovoltaica adotada (em intervalos de 5 minutos) foram identificados alguns valores de geração instantânea que ultrapassam a capacidade instalada nominal (1 MWp). Isto se deve possivelmente ao efeito de borda de nuvem. Quanto maior a resolução temporal adotada na técnica de medição para registrar a energia solar fotovoltaica gerada, mais valores em que a demanda ultrapassa a capacidade fotovoltaica instalada poderiam ser observados.

A Tab. 2 destaca os valores máximos mensais da potência fotovoltaica injetada na rede elétrica pela usina fotovoltaica de 1MWp com as respectivas datas, horários de ocorrência e irradiância.

Tabela 2 - Datas, horários de ocorrência, irradiâncias e injeções máximas de potência fotovoltaica.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Dia	19	26	3	9	3	25	13	21	24	20	2	7
Hora	13:50	13:55	11:20	12:20	12:35	11:45	12:45	12:10	12:10	11:05	13:00	12:10
I (W/m ²)	1.007,1	679,8	881,8	997,9	627,7	550,1	397,7	827,2	742,0	904,6	863,7	785,5
$P_{FV}^{m\acute{a}x}$ (kW)	1.080	1.020	1.020	900	840	720	720	840	840	840	900	900

No período analisado, os resultados mostram injeção máxima de potência fotovoltaica na rede elétrica da unidade consumidora de 1.080 kW, no dia 19 de Janeiro às 13:50 horas. Os resultados mostram ainda, que não existe coincidência temporal entre as demandas máximas da unidade consumidora e as injeções fotovoltaicas máximas da usina solar.

A Fig. 8 apresenta, para o período analisado, a evolução mensal da energia gerada pela usina fotovoltaica de 1MWp.

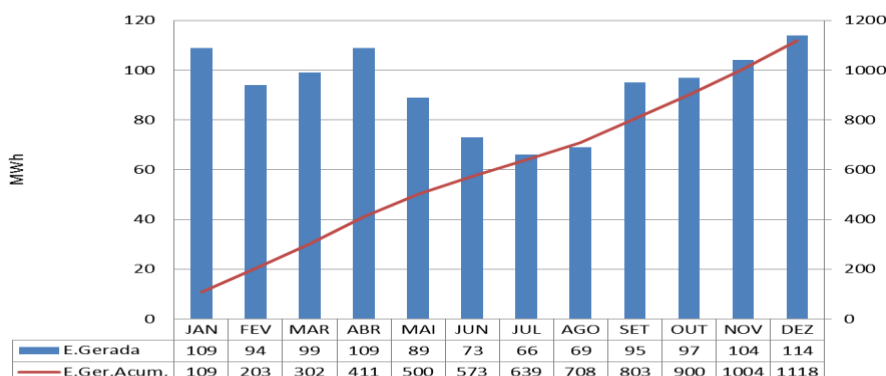


Figura 8 – Evolução mensal da energia gerada e energia gerada acumulada – Usina fotovoltaica 1 MWp.

A maior quantidade de energia fotovoltaica teria sido gerada em dezembro (114 MWh) e a menor em julho (66 MWh). No ano de 2011, a energia total produzida pela usina fotovoltaica teria sido de aproximadamente 1.118 MWh.

A Fig. 9 apresenta, para o ano de 2011 em intervalos de 5 minutos, a curva de demanda original da unidade consumidora (sem considerar a contribuição da usina solar fotovoltaica de 1 MWp), e a curva de demanda da unidade consumidora levando em consideração a contribuição da usina fotovoltaica hipotética de 1MWp.

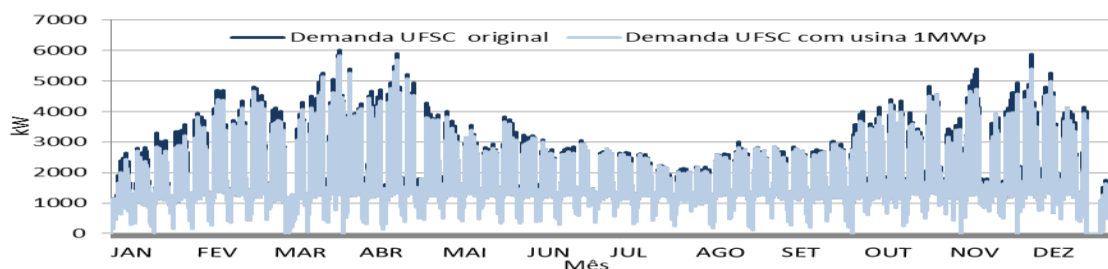


Figura 9 Evolução da demanda original da unidade consumidora e demanda da unidade consumidora com a contribuição da usina fotovoltaica hipotética de 1MWp.

Os resultados mostram que em 2011, a agregação da energia solar fotovoltaica à rede elétrica da unidade consumidora teria proporcionado redução de sua demanda máxima em 180 kW (aproximadamente 3 % do valor de sua demanda máxima original).

A Fig. 10 apresenta, para o Campus Trindade da UFSC no ano de 2011, a evolução mensal da energia consumida, da energia gerada pelo gerador fotovoltaico hipotético de 1 MWp e a contribuição energética da usina solar no consumo total de energia elétrica da unidade consumidora(%).

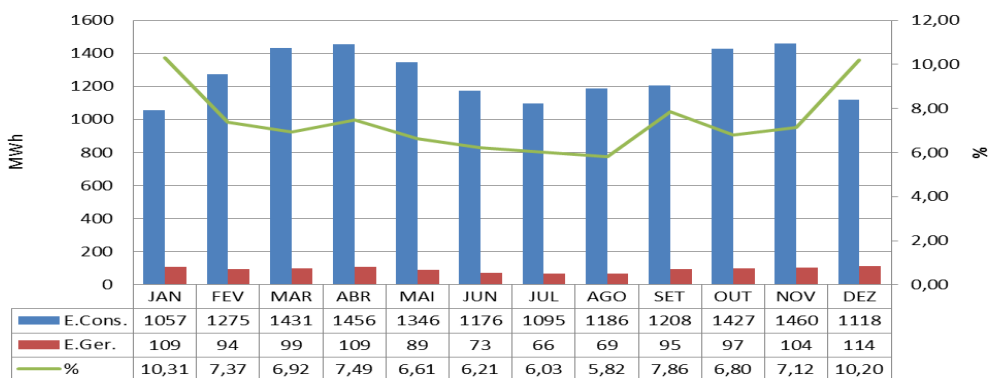


Figura 10 Evolução mensal da energia consumida pela UFSC e energia gerada pela usina fotovoltaica de 1MWp

Os resultados mostram que em 2011, o gerador fotovoltaico de 1MWp contribui com aproximadamente 7,4 % do consumo total de energia elétrica da unidade consumidora.

4. CONCLUSÃO

A metodologia desenvolvida possibilita avaliar a contribuição energética e os impactos da geração solar fotovoltaica sobre a demanda de uma unidade consumidora, a partir de técnicas de medição e verificação da demanda elétrica da mesma e da energia gerada por um sistema solar fotovoltaico conectado em sua rede elétrica.

Os resultados mostram que embora Florianópolis esteja localizada na região do Brasil onde são observados os menores valores de irradiação solar global e maior variabilidade, a energia solar se apresenta abundante e bem distribuída, permitindo a agregação da energia solar fotovoltaica em todos os meses do ano.

Em 2011, a unidade consumidora analisada apresentou elevado consumo de energia elétrica (15.235 MWh). Suas demandas máximas mensais ocorreram no período vespertino (entre 14:00 e 16:20 horas). A demanda máxima anual (6.013 kW) ocorreu, no dia 24 de março, às 15:50 horas. Este trabalho mostra, para o Campus da Trindade da UFSC e para os meses mais quentes do ano, a forte correlação entre a demanda elétrica e a temperatura ambiente, devido à grande concentração de carga em operação dos sistemas de ar condicionado. No mesmo período, o sistema fotovoltaico simulado de 1 MWp conectado à sua rede elétrica teria gerado aproximadamente 1.118 MWh e injetado na mesma às 15:50 horas (horário de máxima demanda anual) 180 kW. Em 2011, o gerador fotovoltaico de 1MWp teria contribuído com aproximadamente 7,4 % do consumo total de energia elétrica da unidade consumidora e reduzido sua demanda máxima anual em aproximadamente 3 %.

A agregação da energia solar fotovoltaica, pela concomitância entre geração e consumo, se apresenta como uma proposta muito interessante para reduzir o consumo de energia elétrica. Entretanto, devido à grande variabilidade temporal do recurso solar, seu impacto sobre a demanda pode ser pouco significativo. Para garantir maior redução da demanda da unidade consumidora e conseqüentemente maior redução de seu custo devido à demanda contratada, torna-se necessário dimensionar um sistema de armazenamento da energia que seria utilizado apenas no horário de pico e que pudesse garantir, neste período, a redução adequada e desejada da demanda.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Irvando Speranzini, servidor da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, pelo acesso aos dados de demanda do Campus Trindade da UFSC.

REFERÊNCIAS

- Alcázar-Ortega, M., Escrivã-Escrivã, G., Sergura-Heras, I., 2011. Methodology for validating technical tools to assess customer demand response: application to a commercial customer, *Energy Conversion and Management*, vol.52, pp.1507-1511.
- Al-Mulla, A., Maheshwari, G.P., Al-Nakib, D., El-Sherbini, A., Alghimlas, F., Al-Taqi, H., Al-Hadban, Y., 2013. Enhancement of building operations: A successful approach towards national electrical demand management, *Energy Conversion and Management*, vol. 76, pp. 781-793.
- Andrade, R.C., Tiba, C., 2015. Extreme global solar irradiance due to cloud enhancement in northeastern Brazil, *Renewable Energy*, vol. xx, pp. 1-9. (article in press).
- Braun, P., Rüther, R., 2010. The role of grid-connected building integrated photovoltaic generation in commercial building energy and power loads in a warm and sunny climate, *Energy Conversion and Management*, vol, 51, pp. 2457-2466.
- Carlo, J., Lamberts, R., 2008. Development of envelope efficiency labels for commercial buildings: effect of different variables on electricity consumption, *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 2002-2008.
- Escrivã-Escrivã, G., 2011. Basic actions to improve energy efficiency in commercial buildings in operation, *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 3106-3111.
- Goldemberg, J., Coelho, S.T., Gol, O.L., 2004. How adequate policies can push renewables, *Energy Policy*, vol. 32, pp. 1141-1146.
- Hasnain, S.M., Alawaji, S.H., Al-Ibrahim, A.M., Smiai, M.S., 2009. Prospects of cool thermal storage utilization in Saudi Arabia, *Energy Conversion and Management*, vol. 41, pp. 1829-1839.
- INPE. Solar Radiation in Brazil. Disponível em <<http://en.openei.org/datasets/dataset>>. Acesso em: 03/09/15.
- INMET. Banco de dados de irradiação solar e temperatura ambiente para a estação Florianópolis. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 10/09/15.
- Kalkan, N., Bercin, K., Cangul, O., Morales, M.G., Saleem, M.M.K.M., Marji, I. Metaxa, A., Tsigkogianni, E., 2011. A renewable energy solution for Highfield Campus of University of Southampton, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.15, pp. 2940-2959.
- Kapsomenakis, J., Kolokotsa, D., Nikolaou, T., Santamouris, M., Zerefos, S.C., 2013. Forty years increase of the air ambient temperature in Greece: The impact on buildings, *Energy Conversion and Management*, vol. 74, pp. 353-365.

- Lam, J.C., Tsang C.L., Li, D.H.W., 2004. Long term ambient temperature analysis and energy use implications in Hong Kong, *Energy Conversion and Management*, vol. 45, pp. 315-327.
- Lam, J.C., Wan, K.K.W., Tsang, C.L., Yang, L., 2008. Building energy efficiency in different climates, *Energy Conversion and Management*, vol. 49, pp. 2354-2366.
- Mahilda, T.M.I., Saidur, R., 2010. A review on test procedure, energy efficiency standards and energy labels for room air conditioners and refrigerator-freezers, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 1888-1900.
- NASA. Surface meteorology and Solar Energy Release Data Set. Disponível em: <<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>>. Acesso em: 03/09/15.
- NREL. CSR Model data for South America. Disponível em: <<https://www.data.gov>>. Acesso em: 03/09/15.
- NBR 16401-2, 2008. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários, Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.
- Pereira, E.B., Martins, F.R., Abreu, S.L., Rütther, R., 2006. Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE, São José dos Campos, Brasil, p. 31, ISBN: 978-85-17-000300-0.
- Piacentini, R.D., Salum, G.M., Fraidenraich, N., Tiba, C., 2011. Extreme total solar irradiance due to cloud enhancement at sea level of the NE Atlantic coast of Brazil, *Renewable Energy*, vol. 36, pp. 409-412.
- Piedechierro, A.A., Antón, M., Cazorla, A., Alados-Arboledas, L., Olmo, F.J., 2014. Evaluation of enhancement events of total solar irradiance during cloudy conditions at Granada (Southeastern Spain), *Atmospheric Research*, pp 135-136.
- Pinto, G.X.A., Naspolini, H.F., Rütther, R., 2015. Programa XNsolar 1.0 - Manual do Usuário, Relatório Interno, UFSC, Florianópolis, p. 47.
- Rezaie, B., Dincer, I., Esmailzadeh, E., 2013. Energy options for residential buildings assessment, *Energy Conversion and Management*, vol.65, pp. 637-646.
- Rezaie, B., Rosen, M.A., 2012. District heating and cooling: review of technology and potential enhancements, *Applied Energy*, vol. 93, pp. 2-10.
- Rosa, L.P., Lomardo, L.L.B., 2004. The Brazilian energy crisis and a study to support building efficiency legislation, *Energy and Buildings*, vol.36, pp. 89-95.
- Rütther, R., Dacoregio, M.M., 2000. Performance assessment of a 2kWp grid-connected, building-integrated, amorphous silicon photovoltaic installation in Brazil, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol.7, pp. 257-266.
- Rütther, R., Zilles, R., 2011. Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil, *Energy Policy*, vol. 39, pp. 1027-1030.
- Sozer, H., 2010. Improving energy efficiency through the design of the building envelope, *Building and Environment*, vol. 45, pp. 2581-2593.
- Tapakis, R., Charalambides, A.G., 2014. Enhanced values of global irradiance due to the presence of clouds in East Mediterranean, *Renewable Energy*, vol. 62, pp. 459-467.
- Transue, M., Felder, F.A., 2010. Comparison of energy efficiency incentive programs: rebates and white certificates, *Utilities Policy*, Vol. 18, pp. 103-111.
- Yarbrough, I., Sun, Q., Reeves, D.C., Hackman, K., Bennett, R., Henshel, D.S., 2015. Visualizing building energy demand for building peak energy analysis, *Energy and Buildings*, vol. 91, pp. 10-15.
- Zhao, J., Song, Y., Lam, W.H., Liu, W., Liu, Y., Zhang, Y., 2011. Solar radiation transfer and performance analysis of an optimum photovoltaic/thermal system, *Energy Conversion and Management*, vol. 52, pp. 1343-1353.

IMPACTS ON MAXIMUM DEMAND AND ENERGY CONTRIBUTION OF A GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC GENERATION NETWORK

Abstract. *This paper presents a method to assess the energy contribution and the impact that photovoltaic generation can have on the electrical demand of a consumer unit. The consumer unit investigated consisted of several buildings located on the Trindade campus of the Universidade Federal de Santa Catarina. The proposed method is based on measurement techniques, demand verification and energy generated by a grid-connected photovoltaic generation system. The energy consumption of the consumer unit, in 2011, was 15,235 MWh with a peak demand of 6,013 kW. In the same period, a simulation was made of the power and energy contribution of a 1 MWp grid-connected photovoltaic generation system. The results show that the simulated PV system would generate approximately 1,118 MWh. This system would inject into the grid, in the peak demand time, approximately 180 kW. In the analyzed period, the 1MWp grid-connected photovoltaic system would have contributed with approximately 7.4% of the total electricity consumption of the consumer unit and would have reduced its peak demand by approximately 3%.*

Key words: *Solar Energy, Photovoltaic Solar Energy, Demand reduction.*