

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NO CÂMPUS GOIÂNIA DO IFG

Paulo Roberto Freitas Silva Pelágio – prartes@yahoo.com.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG
Sérgio Pires Pimentel – sergio_pimentel@ufg.br
Universidade Federal de Goiás - UFG
José Luis Domingos – jose.domingos@ifg.edu.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG

Resumo. Os sistemas de geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos (FV) estão em pleno crescimento e, quando acoplados a uma edificação de grande consumo e interconectados com a rede de distribuição de energia elétrica, podem contribuir para a redução no pico de demanda e, conseqüentemente, nas faturas de energia elétrica. No presente artigo são apresentados dados e gráficos referentes à contribuição de quatro possíveis sistemas FV, bem como análises são realizadas para avaliar o possível suprimento de energia no Câmpus Goiânia do Instituto Federal de Goiás (IFG) de modo a complementar a demanda de energia requerida pelas edificações que o compõem. Os resultados apontam um cenário favorável para a instalação dos painéis FV nas coberturas do IFG, ou seja, viável em termos técnicos.

Palavras-chave: Energia solar, Geração de eletricidade, Viabilidade técnica, Sistemas fotovoltaicos.

1. INTRODUÇÃO

A população mundial tem enfrentado sérias dificuldades decorrentes de problemas ambientais e o aquecimento global é uma realidade em virtude, dentre outros aspectos, da utilização de fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis (Zomer, 2010).

O crescimento populacional apresenta conseqüências diversas e uma destas é o esgotamento das reservas de energia para suprir, na mesma proporção, as necessidades do ser humano. De acordo com relatório das Nações Unidas, em 2013 a população mundial alcançou 7,3 bilhões de pessoas e estima alcançar 9,6 bilhões de pessoas para 2050 (United Nation, 2013). Por isso, as fontes renováveis de energia tendem a receber cada vez mais a atenção e o investimento dos legisladores e das autoridades.

A geração de energia elétrica (EE) distribuída por meio de fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada está cada vez mais presente no cotidiano das distribuidoras de energia. Com o advento da Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o consumidor pode se tornar um produtor de EE como complemento à sua demanda e utilizar o excedente da energia gerada como crédito nas faturas subsequentes ou em outras unidades consumidoras, dentro das regras estabelecidas (Villalva e Gazoli, 2012). Mecanismos de cobrança que atribui créditos aos proprietários do sistema de energia solar, e demais fontes renováveis, pela eletricidade que este adiciona à rede tem sido adotados, e são comumente referenciados como Net metering (SEIA, 2013).

O Brasil possui a maior parte do seu território localizada entre trópicos, sendo cortado pela linha do Equador e, por isso, é privilegiado em termos de insolação. Aqui, as piores condições de irradiação solar são ainda superiores aos melhores valores dos países nos quais a tecnologia solar fotovoltaica (FV) está mais consolidada, como na Alemanha e na Espanha (Takenaka, 2010).

A energia FV converte diretamente energia solar em EE, apresenta-se como fonte não poluidora, silenciosa e com considerável eficiência (Mondal e Islam, 2011). Este tipo de geração pode contribuir na redução de perdas de transmissão e distribuição convencionais, pois ocorre próximo ou no próprio local de consumo (Jannuzzi e Melo, 2013), no caso dos geradores FV integrados às edificações. Outra vantagem da energia FV reside no fato da máxima geração desta coincidir muitas vezes com os picos de demanda das cargas e, por isso, diminuiria o uso da rede de distribuição em seu período de maior produção de EE, evitando possíveis blackouts ou racionamentos de energia (Ruther, 2004).

Ultimamente, têm sido desenvolvidos estudos de viabilidade no emprego de fontes renováveis como alternativa no suprimento de energia de edificações residenciais e comerciais, de pequeno e grande porte (Zomer, 2010), (Takenaka, 2010), (Mondal e Islam, 2011), (Januzzi e Melo, 2013), (Salamoni, 2004), (Sousa e Nerys, 2011), (Fontes e Bastos, 2012).

Dentro do contexto apresentado, surge a motivação para o desenvolvimento deste artigo, o qual tem por objetivo verificar o potencial de contribuição de quatro possíveis sistemas FV no suprimento de energia no Câmpus Goiânia do Instituto Federal de Goiás (IFG), de modo a complementar a sua demanda atual.

2. METODOLOGIA

De modo a realizar a estimativa de geração FV, foram selecionados quatro tipos de módulos em função da tecnologia (mono e policristalino, respectivamente m-Si e p-Si) e da disponibilidade no mercado atual (Tab. 1). As características elétricas de operação nominal de cada módulo foram coletadas em seus catálogos técnicos. Cabe ressaltar que, a eficiência STC (do inglês Standard Test Conditions – condições-padrão de teste) de módulos m-Si e p-Si é influenciada pela temperatura de operação da célula e que cada módulo possui um coeficiente de temperatura específico (Salamoni, 2004). Fez-se necessário recalcular a eficiência de cada módulo a partir de uma temperatura de operação NOCT (do inglês Nominal Operating Cell Temperature) igual a 45°C. O inversor considerado no estudo é da marca Santerno, modelo M Plus 3600E, monofásico, potência de pico no campo FV de 3310 Wp, potência nominal de entrada em corrente contínua (CC) de 2930 W, tensão máxima em CC de 600 Vdc, com rendimento de 94,5%.

Tabela 1 – Módulos fotovoltaicos adotados e suas características

Tipo	Tecnologia	Fabricante	Modelo	Potência nominal (Wp)	Área (m ²)	Eficiência NOCT (%)
1	m-Si	Bosch	M240 3BB	240	1,64	13,3
2	m-Si	LG	LG255S1C	255	1,60	14,5
3	p-Si	Kyocera	KD210GH-2PU	210	1,49	12,8
4	p-Si	Yingli	YL140P-17b	140	1,00	12,7

O levantamento dos dados de consumo de EE das edificações do IFG teve por finalidade traçar o perfil de carga ao longo do dia de um bloco com alta demanda durante os três turnos (matutino, vespertino e noturno), bem como comparar mensalmente o consumo de EE com a possível geração FV. O consumo foi obtido tanto pelas faturas mensais quanto por medições realizadas em um bloco (Bloco 400) de salas de aulas. Este bloco foi escolhido em virtude da sua representatividade sobre os demais, pois as características das cargas e períodos de funcionamento são semelhantes. As faturas de energia são relativas ao ano de 2012 e as medições ocorreram no período de 09 a 23 de abril de 2013. Apesar de não ter sido proposital, tal período possibilitou o acompanhamento da demanda em dias normais de utilização (aulas), finais de semana e, também, em feriados. É comum que existam atividades no Câmpus Goiânia durante os finais de semana, diferentemente do que ocorre em um feriado.

Foram consideradas como áreas de cobertura disponíveis para a instalação dos painéis fotovoltaicos (FV) aquelas cuja topologia apresenta-se plana ou com leves inclinações. Algumas estruturas prediais do câmpus são tombadas pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), logo, não foram consideradas neste estudo. Outras coberturas estão em nível inferior aos demais blocos e, por isso, são passíveis de grande período de sombreamento. O estudo de sombreamento foi feito em modelo dimensionado por meio do programa Autodesk® Ecotect® Analysis 2011. De acordo com as coordenadas da localidade, determinou-se a melhor inclinação e orientação dos módulos FV.

Para que os módulos não provoquem sombreamento uns aos outros, calculou-se a distância entre uma fileira de painéis e outra, obtendo-se, portanto, o fator de ocupação, que é a razão entre a área do painel e a área na superfície plana necessária para sua instalação (Villalva e Gazoli, 2012). Com isso, foi possível quantificar o número de módulos sobre as coberturas do IFG. Por conseguinte, estimou-se a potência FV a ser instalada.

Os dados de irradiação solar para a cidade de Goiânia (Latitude -16°38' e Longitude -49°13') foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e são relativos a medições obtidas no período de maio de 2001 a novembro de 2012. A partir dos dados brutos, foram obtidas a média mensal de irradiação solar diária no plano horizontal e a curva global de irradiação solar diária.

Por fim, calculou-se a provável energia mensal produzida pelos módulos FV através do método da insolação (Villalva e Gazoli, 2012) e comparou-se com o consumo mensal de EE do Câmpus Goiânia. Isso permitiu que a contribuição da geração FV sobre a fatura mensal de energia do IFG fosse verificada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Consumo de energia elétrica

Observou-se, através das medições de EE, que o perfil de carga do bloco com predomínio de salas de aulas apresenta característica de consumo bem definida (Fig. 1). Por essa razão verifica-se também brusca redução do consumo nos períodos entre turnos (de 12h às 13h e de 17h às 18h30min). O consumo no bloco é predominantemente associado a sistemas de iluminação e de condicionadores de ar e alguns laboratórios experimentais.

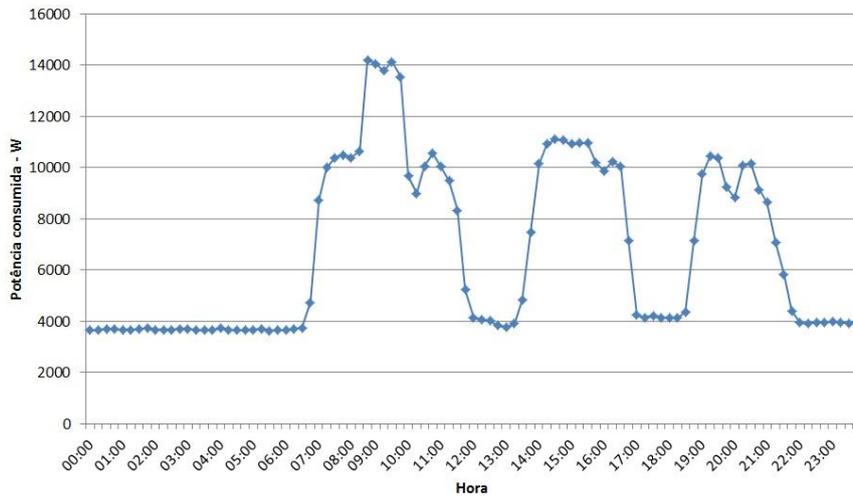


Figura 1 – Curva característica de demanda do bloco 400

Embora não tenha sido realizada medição dos circuitos nos blocos administrativos do câmpus, espera-se que o perfil de carga para os mesmos tenha formato semelhante à curva de insolação diária na localidade, pois são constituídos por salas cujo funcionamento se dá no período comercial (8h às 18h) com cargas predominantes de iluminação e condicionamento de ar.

O consumo total de EE do câmpus no ano de 2012 foi de 900,7 MWh. Os meses vinculados ao período letivo acadêmico são os que apresentam maior consumo, ao contrário dos meses de férias.

3.2 Áreas de cobertura e instalação dos painéis fotovoltaicos

O Câmpus Goiânia do IFG localiza-se em região sem construções verticais e vegetações altas que pudessem causar sombras durante o período de maior incidência solar. Por meio da análise de sombreamento, foi possível simular o caminho percorrido pelos raios solares sobre as edificações ao longo de todos os dias do ano, como mostra a Fig. 2.

De acordo com a literatura (Villalva e Gazoli, 2012), (Takenaka, 2010), (Salamoni, 2004) e, em virtude da localização da edificação no hemisfério sul do globo terrestre, para maximizar a produção diária de energia, os módulos devem estar com a face voltada para o norte geográfico e o ângulo de inclinação deve estar em função do ângulo da latitude geográfica da localidade onde o sistema é instalado (Villalva e Gazoli, 2012). Portanto, o ângulo de inclinação dos módulos em relação ao solo na cidade de Goiânia deve ser equivalente a 16°.

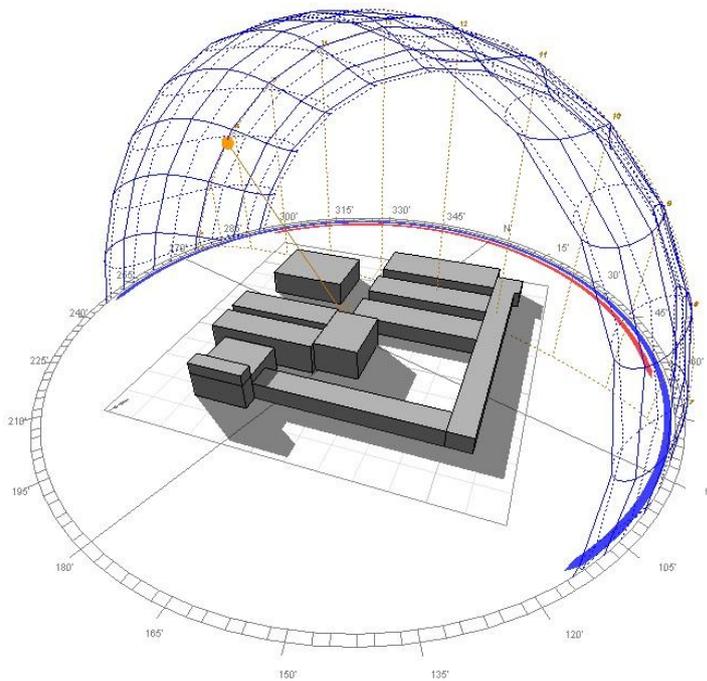


Figura 2 – Simulação da evolução de sombreamento sobre o Câmpus Goiânia

Depreende-se da análise de sombreamento que as coberturas consideradas adequadas para o sistema FV são inteiramente irradiadas nos seguintes períodos:

- Horário de verão: entre 7h30min e 19h30min;
- Horário normal:
 - Outono e primavera: entre 6h40min e 17h30min;
 - Inverno: entre 7h30min e 17h00min.

As áreas de cobertura disponíveis consideradas adequadas para a instalação dos módulos FV são as coberturas dos blocos 300, 400, 500, 600, 700 e 800 do Câmpus Goiânia. Para melhor compreensão das edificações, na Fig. 3 é mostrada a imagem panorâmica da área do câmpus.



Fonte: página oficial do IFG na internet, www.ifg.edu.br
 Figura 3 – Imagem panorâmica do Câmpus Goiânia do IFG

Com relação a tais coberturas, os valores de suas áreas foram coletados a partir das plantas arquitetônicas do câmpus. A partir das áreas totais, verificou-se a área necessária para a instalação dos painéis para cada tecnologia adotada, visto que cada módulo possui uma área diferente. O fator de ocupação calculado é de 52% comum a todas as tecnologias deste estudo. Ou seja, está prevista a ocupação de 52% da área total de cobertura dos blocos por módulos FV. A Tab. 2 relaciona as áreas de cada bloco com o respectivo quantitativo de módulos.

Tabela 2 – Áreas de cobertura dos blocos e quantitativo de módulos

Bloco	Área (m ²)	Nº de módulos			
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
300	1038	328	337	363	539
400	1018	322	331	356	529
500	1457	460	474	509	757
600	612	193	199	214	318
700	734	232	239	257	381
800	734	232	239	257	381
Total	5593	1767	1818	1956	2905

3.3 Irradiação solar

De posse das medições de irradiação solar em Goiânia no período citado anteriormente, foi traçada a curva global de irradiação solar diária (Fig. 4) e, também feito o gráfico das médias mensais de irradiação solar diária (Fig. 5).

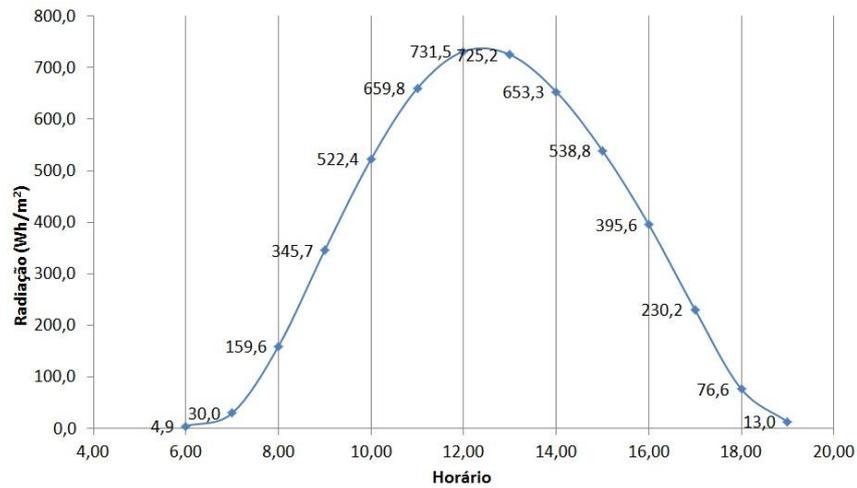


Figura 4 – Curva global diária de irradiação solar na cidade de Goiânia.

Sabe-se que a irradiação solar sobre uma localidade ao longo do dia sofre influência da presença de nuvens e ocorrência de chuvas, por isso nem sempre apresenta um formato regular (sino) como mostrado no gráfico da figura 4, porém, trata-se de curva média representativa, contemplando assim ambos os dias limpos e nublados.

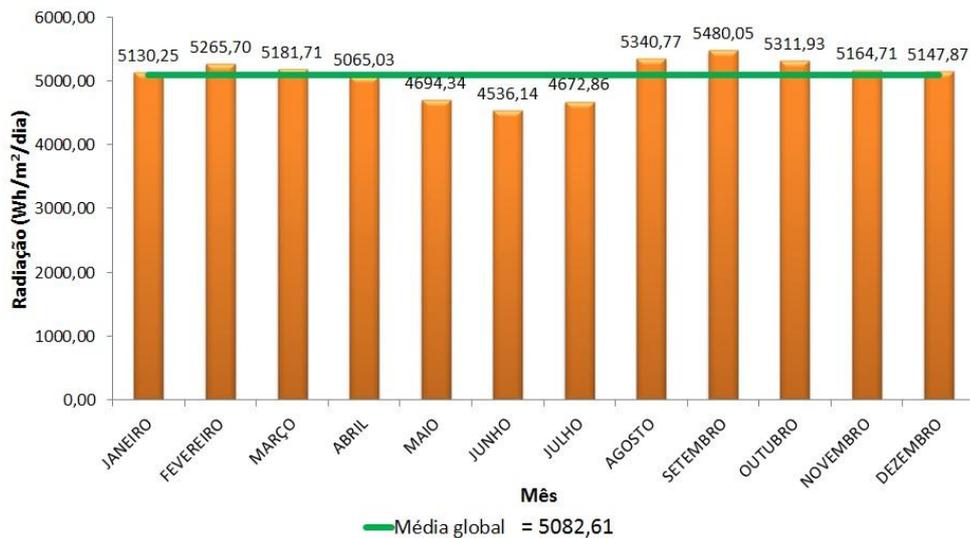


Figura 5 – Médias mensais de irradiação solar diária na cidade de Goiânia. Período: maio de 2001 a novembro de 2012.

Depreende-se da figura 5 a média de irradiação solar diária no plano horizontal em torno de 5082 Wh/m²/dia. Este valor é considerado alto e caracteriza o grande potencial da região central do Brasil no uso da tecnologia FV como forma alternativa na produção de EE.

2.4 Geração fotovoltaica

O cálculo da energia produzida pelos módulos FV leva em consideração o espaço disponível para a instalação dos painéis. Assim, de posse do quantitativo de módulos por área de cobertura, das características técnicas dos equipamentos e do grau de irradiação diária na localidade, é possível estimar o potencial de geração FV através da Eq. (1) (Villalva e Gazoli, 2012).

$$E_P = E_S \times A_M \times \eta_M \times \eta_I \quad (1)$$

Onde:

E_P : energia produzida pelo módulo diariamente (Wh);

E_S : irradiação diária (Wh/m²/dia);

A_M : área da superfície do módulo (m²);

η_M : eficiência do módulo (%);

η_I : eficiência do inversor (%).

O potencial instalado para cada tecnologia leva em consideração a potência nominal do módulo FV e o quantitativo de módulos sobre as coberturas. A Tab. 3 demonstra a possível potência instalada por tecnologia.

Tabela 3 – Potência instalada por tecnologia

Tecnologia	1	2	3	4
Potência (kW)	424,09	463,57	410,66	406,72

Pode-se observar que os valores de potência instalada são superiores a 100 kW e inferiores a 1 MW, portanto, para as tecnologias adotadas, caracterizam-se sistemas de minigeração distribuída conforme definições da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A Eq. (1) estima a energia produzida por um módulo em um dia. Para a estimativa mensal, basta multiplicar o valor obtido por 30. Ao multiplicar a E_p pela quantidade total de módulos sobre as coberturas das edificações, obtém-se finalmente a geração FV total. A Tab. 4 relaciona, para cada mês, o potencial da capacidade de geração de EE para cada tecnologia FV adotada no estudo.

Tabela 4 – Consumo verificado x potencial de EE por tecnologia

Mês (2012)	Consumo (kWh)	E_p (kWh)			
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Jan	64141,56	56006,14	61085,27	54232,61	53830,08
Fev	59518,08	57484,83	62698,06	55664,47	55251,31
Mar	55353,24	56567,92	61698,00	54776,60	54370,03
Abr	73539,72	55294,14	60308,71	53543,16	53145,75
Mai	89686,08	51247,38	55894,95	49624,54	49256,21
Jun	83202,48	49520,33	54011,28	47952,19	47596,27
Jul	78849,72	51012,88	55639,19	49397,48	49030,83
Ago	55776,96	58304,35	63591,91	56458,05	56039,00
Set	72356,76	59824,85	65250,30	57930,40	57500,42
Out	72759,00	57989,51	63248,52	56153,18	55736,39
Nov	102423,00	56382,33	61495,59	54596,89	54191,66
Dez	93060,00	56198,49	61295,07	54418,88	54014,96
Total	900666,60	665833,17	726216,85	644748,46	639962,91

Da Tab. 3 depreende-se que a tecnologia FV Tipo 2 obteve melhor performance. Este sistema geraria em média 726,22 MWh por ano, quantidade essa que não mais seria necessária adquirir junto à concessionária de EE e equivale a aproximadamente 80% do consumo do Câmpus Goiânia do IFG no período citado. Fatores como a eficiência do módulo FV relacionado à tecnologia Tipo 2 e sua área em relação aos demais painéis foram significantes na definição do melhor desempenho estimado para o sistema.

O gráfico da Fig. 6 ilustra uma previsão de leitura do consumo de EE caso fosse utilizado o sistema FV Tipo 2 e, também, que ele estivesse conectado à rede de distribuição da concessionária. Vale destacar que o Câmpus Goiânia do IFG é alimentado por um ramal trifásico de ligação em tensão primária de distribuição (13,8 kV). A curva azul mostra uma estimativa de quanta EE seria absorvida da rede de distribuição e a curva vermelha, o montante que seria gerado pelo sistema FV Tipo 2.

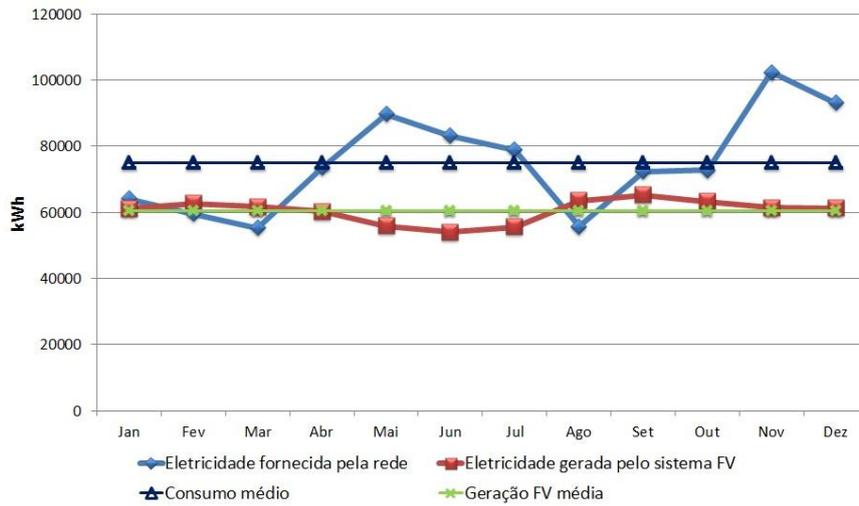


Figura 6 – Consumo de EE x potencial de geração FV com tecnologia Tipo 2

Por meio do gráfico da Fig. 7, pode-se comparar o quanto em kWh se paga atualmente à concessionária pelo consumo de EE (barras azuis) e a expectativa (barras amarelas) do quanto seria adquirido, em kWh, caso fosse instalado o sistema FV Tipo 2 Câmpus Goiânia do IFG.

A fatura de EE pode variar de acordo com a produção real de EE por mês do sistema FV. Caso seja gerada energia além do que se consome no mês, o excedente é convertido em créditos na conta de EE, que são usados para abater da fatura de eletricidade nos meses subsequentes. As regras sobre o sistema de compensação de EE são contempladas pela Resolução nº 482/2012 da ANEEL, seção 3.7 do módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), e normas técnicas da distribuidora local, neste caso, a Norma Técnica (NTC) 71.

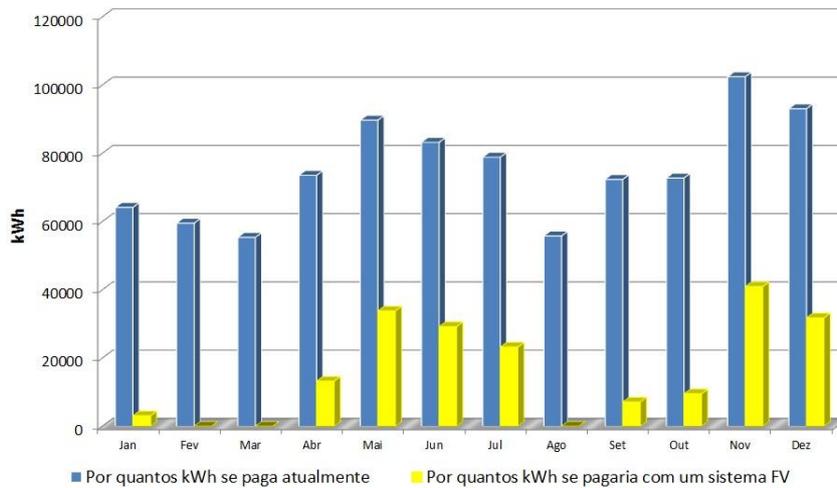


Figura 7 – Comparação entre faturas de energia - tecnologia 2

Embora existam, conforme os gráficos, meses em que o consumo do prédio seja totalmente suprido pelo sistema FV, existe, para o grupo de consumo no qual o Câmpus Goiânia se enquadra, um custo mínimo relativo à demanda de EE contratada. Mesmo assim, este valor total poderá ser reavaliado e discutido junto à concessionária após o completo aproveitamento do potencial FV proposto neste trabalho.

4. CONCLUSÕES

Por meio dos dados e gráficos apresentados e da análise destas informações verificou-se a contribuição de quatro possíveis sistemas FV no suprimento de energia no Câmpus Goiânia do IFG de modo a complementar a demanda de energia requerida pelas edificações que o compõem.

Com a tecnologia FV tipo 2 deste estudo, foi possível estimar uma contribuição de aproximadamente 80% sobre o consumo de EE do Câmpus Goiânia do IFG. Por isso, os dados apontam a um cenário amplamente viável, em termos técnicos, para a implantação do sistema de painéis FV neste câmpus.

Pode-se considerar como real contribuição ao IFG, a visibilidade da instituição na adoção de fontes alternativas de energia. Como instituição de ensino, seria um exemplo de como isto pode ser feito, podendo explorar o potencial de pesquisa in loco após as instalações. Além disso, os recursos economizados advindos da economia de EE poderiam ser destinados a ampliações e revitalizações no câmpus, além de representar uma prática com vista à sustentabilidade.

O presente estudo evidencia resultados parciais tendo em vista a sua continuidade em estudos de viabilidade econômica, por meio da análise de investimento dos potenciais sistemas FV a serem empregados, bem como suscita a avaliação da instalação com foco no aumento da eficiência energética da instalação.

Agradecimentos

Os autores gentilmente agradecem às contribuições e informações fornecidas pelo INMET e pela Direção Geral do Câmpus Goiânia do IFG.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa no 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.
- Fontes, F. A. S., Bastos, P. R. F. M., 2012. A experiência com geração fotovoltaica no Estado da Bahia,” em anais do IV SBSE - IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2012, Goiânia.
- Jannuzzi, G. M., Melo, C. A., 2013. Grid-connected photovoltaic in Brazil: Policies and potential impacts for 2030, Energy for Sustainable Development, vol. 17, pp. 40-46.
- Mondal, Md. A. H., Islam A. K. M. S., 2011. Potential and viability of grid-connected solar PV system in Bangladesh, Renewable Energy, vol. 36, pp. 1869-1874.
- Ruther, R., 2004. Edifícios Solares Fotovoltaicos, 1. ed. Florianópolis: LABSOLAR, p. 45.
- Salamoni, I. T., 2004. Metodologia para cálculo de geração fotovoltaica em áreas urbanas aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Solar Energy Industries Association - SEIA. Net Metering: Issues & Policies. Washington, DC. [Online]. Disponível em: <http://www.seia.org/policy/distributed-solar/net-metering>
- Sousa, B. X., Nerys J. W., 2012. Estudo de caso de geração distribuída fotovoltaica de pequeno porte conectada à rede de distribuição, em anais do IV SBSE - IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2012, Goiânia.
- Takenaka, F. O., 2010. Avaliação do potencial de geração de energia solar fotovoltaica na cobertura das edificações do Câmpus I – CEFET-MG, interligado à rede elétrica, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2013). World Population Prospects: The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP. p. 1.
- Villalva, M. G., Gazoli, J. R., 2012. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações, 1. ed. São Paulo: Érica, p. 36-37, 64, 136, 60.
- Zomer, C. D., 2010. Megawatt Solar: geração solar fotovoltaica integrada a uma edificação inserida em meio urbano e conectada à rede elétrica. Estudo de caso: Edifício sede da Eletrosul, Florianópolis – Santa Catarina, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

TECHNICAL FEASIBILITY STUDY FOR THE ESTABLISHMENT OF PHOTOVOLTAIC PANELS AT GOIÂNIA CAMPUS OF IFG

Abstract. *The power generation systems through photovoltaic (PV) panels are growing and, when coupled to a building of big consumption and interconnected with the network of electricity distribution, may contribute to the peak demand reduction and hence the electricity bills. In this paper are presented data and graphs related to the contribution of four possible PV systems as well as analyzes are performed to evaluate the possible energy supply at Goiânia Campus of Federal Institute of Goiás (IFG) to complement the energy demand required by buildings that comprise it. The results indicate a favorable scenario for the installation of PV panels on the roofs of the IFG, ie feasible in technical terms.*

Key words: *Solar Energy, Electricity Generation, Technical Feasibility, Photovoltaic Systems.*