

ANÁLISE DO POTENCIAL PARCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA DE UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO

Hiury S. Gomes, Daniel H. R. Delfino, Eric A. Cantarutti, Luís A. D. Freitas, Tulio P. Quaresma, Yasmin J. S. Cruz

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica
LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
Uberlândia – MG

E-mail: hiurygomes@gmail.com, d.ribeirodelfino@gmail.com, cantarutti@hotmail.com, luisarthurf@outlook.com, tuliopq@yahoo.com.br, yasminjsc@hotmail.com

Resumo - O presente trabalho tem como objetivo realizar a análise do potencial de instalação de uma unidade de geração de energia solar fotovoltaica conectada à rede elétrica com potência instalada de 671,75 kWp (sob condições padrões de teste – *Standard Test Conditions* (STC) - 25°C e irradiação de 1000 W/m²), para fins de geração de energia elétrica. A instalação será realizada sobre o telhado de uma parcela dos blocos e em dois estacionamentos selecionados da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Santa Mônica. Os resultados preliminares indicam que a metodologia proposta configura-se como uma interessante alternativa para a finalidade acima descrita e também para solução de problemas como a necessidade de contratação de novos pacotes energéticos para suprimento de novas cargas da universidade.

Palavras-Chave – Fotovoltaica, Geração, Instalação, Potencial, Solução.

ANALYSIS OF THE POTENTIAL AN ELECTRICAL ENERGY GENERATION UNIT CONNECTED TO THE ELECTRICAL GRID AT FEDERAL UNIVERSITY OF UBERLÂNDIA

Abstract - The current study is intended to analyze the photovoltaic potential of a generation unit connected to the electrical grid with an installed potency of 671,75 kWp (under standard test conditions (STC) - 25°C temperature and a 1000 W/m² irradiation), for electrical energy generation purposes. The installation will take place at the roof of a portion of the buildings and at two parking lots selected of Federal University of Uberlândia (UFU), Campus Santa Mônica. The preliminary results indicate that the proposed methodology places as an interesting alternative to the objective described above and also to solve problems such as the need to procurement new energy packages for new loads university supply.

Keywords – Photovoltaic, Generation, Installation, Potential, Solution.

I. INTRODUÇÃO

Para o setor energético o sol é uma bateria de carga infinita. A energia solar, atualmente, é aproveitada de diversas formas neste meio, desde a captação de calor, para economia em aquecimento, até a geração de energia elétrica propriamente

dita. Essa energia, a qual a Terra recebe anualmente, nas formas de luz e calor, é suficiente para suprir milhares de vezes as necessidades mundiais, em eletricidade e aquecimento, durante o mesmo período. Desta forma, com poucas exceções, praticamente toda energia usada pelo ser humano tem origem no Sol, que também é responsável por inúmeros fenômenos naturais, como a formação dos ventos, o ciclo da água e a fotossíntese das plantas [1].

Quando se trata de energia elétrica, a dependência do ser humano a esta é vasta, e, ao contrário do formidável, a demanda por este fator cresce de maneira acelerada em todo o mundo. Em casa, no trabalho, no lazer e em todos os lugares o modo de vida moderna apoia-se cada vez mais na energia elétrica, mas esse conforto tem um custo muito elevado para o planeta.

No Brasil, essa situação tem se mostrado cada vez mais crítica. A demanda por energia vem crescendo exponencialmente, e os recursos hídricos, maior fonte de energia do país, têm apresentado indícios de esgotamento e não são mais suficientes para atender à população, o que encarece custos e faz com que os moradores dos grandes centros convivam com ameaças de racionamento. Diante desse cenário, é preciso diversificar as fontes de energia e, cada vez mais, a energia solar deixa de ser uma opção e surge como solução, principalmente por se tratar de uma fonte de energia limpa e renovável.

As fontes renováveis têm ganhado importância crescente em muitos países na tentativa de buscar novas alternativas de geração de eletricidade sem agredir o planeta. O conceito de energia limpa é frequentemente associado às fontes renováveis, pois em comparação com os combustíveis fósseis apresentam reduzidos impactos ambientais e praticamente não originam resíduos ou emissões de poluentes.

Ao longo do tempo o desenvolvimento tecnológico possibilitou que a energia solar fosse utilizada em aquecedores solares térmicos e módulos fotovoltaicos. O efeito fotovoltaico consiste na conversão direta da luz solar em energia elétrica, diferentemente dos sistemas solares térmicos, que são empregados para realizar aquecimento.

Tratando-se do tema proposto por este trabalho, o que alavancou a utilização da energia fotovoltaica no Brasil foi a Resolução Normativas 482/2012 da ANEEL [2], que estabelece as condições gerais para a conexão à rede da micro geração (potência instalada menor ou igual a 75kWp) e mini geração (potência instalada entre 75kWp e 5MWp) distribuída e criou o Sistema de Compensação de Energia. Este permite que sistemas fotovoltaicos e outras formas de geração de energia a partir de fontes renováveis com até 5MW

de potência instalados em residências e empresas se conectem à rede elétrica de forma simplificada, atendendo o consumo local e injetando o excedente na rede, gerando créditos de energia. Desta forma, é possível reduzir a conta de luz de forma considerável com o uso da energia solar, pagando apenas o custo de disponibilidade da rede.

Com a evolução da micro e mini geração fotovoltaica no país, a necessidade de aperfeiçoar a REN nº 482/2012 tornou-se importante e necessária. Nesse sentido, a ANEEL aprimorou a proposta de Resolução Normativa nº 482 e aprovou melhorias com a REN nº 687/2015 [3]. A novidade da resolução diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores. A ANEEL criou ainda a figura da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou mini geração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

A instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica é fácil e rápida, por isso chamada *plug-and-play*. Sua instalação interfere muito pouco no sistema elétrico já existente no local da instalação, além de servir de acordo com as necessidades do imóvel, caso necessário, novos painéis poderão ser instalados no futuro e, assim, ser gerada mais energia.

Os módulos fotovoltaicos são a cada dia mais potentes ao mesmo tempo que seu custo vem decaindo. Isso torna cada vez mais a energia solar uma solução economicamente viável. Embora ainda tímidas e com participação muito reduzida na matriz energética mundial, o uso dos módulos vem crescendo muito em todo o planeta. Em diversos países, essa fonte já é considerada madura e ocupa bastante espaço nas políticas públicas e nos investimentos privados. Os custos das fontes alternativas de energia estão caindo com o aumento da escala de utilização e o preço da energia elétrica por ela gerada em muitos países já se equiparam ao da energia produzida pelas fontes tradicionais.

O sistema fotovoltaico em pauta neste trabalho tem como função gerar energia elétrica de origem renovável, sendo esta produzida, consumida no local de instalação e seu excedente injetado na rede da concessionária distribuidora de energia da localidade (CEMIG D – Cemig Distribuição). Os estudos contemplam o potencial de geração fotovoltaica do Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia.

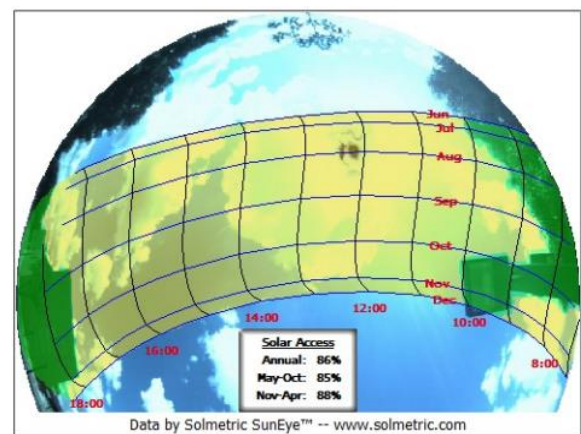
II. CONSIDERAÇÕES E ELABORAÇÕES INICIAIS

Para desenvolvimento deste projeto, após uma análise inicial, optou-se pela avaliação de áreas específicas do campus. Conforme ilustrado pela Fig. 1, as áreas selecionadas para os estudos foram: Bloco 3D, Bloco 3Q, Blocos 5R A e 5O A, Blocos 5R B e 5O B, Bloco 5V, Bloco 5S, Estacionamento do Bloco 5O, Estacionamento do Bloco 3P (Reitoria). Todo o restante da área da universidade que não foi avaliada, será pautada em trabalhos futuros.

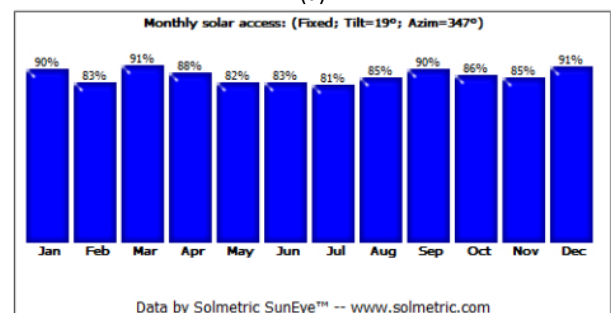


Fig. 1. Áreas do Campus Santa Mônica, UFU, avaliada.

Inicialmente, foi realizada uma análise de viabilidade de geração de energia. Devido à impossibilidade de acesso aos telhados dos blocos, somente os estacionamentos foram avaliados quanto a potenciais sombreamentos ao longo do dia. Constatou-se nessas avaliações a alta captação de raios solares nos respectivos locais a partir de relatórios gerados por *software* específico que traduz em porcentagem a permissividade da radiação solar, durante todo o ano [4]. O hardware utilizado para a medição foi o SUNEYE [5]. Este hardware analisa a trajetória solar sobre o ponto selecionado durante todo o dia e gera um relatório do potencial sombreamento naquele ponto durante todo o ano. A figura abaixo apresenta um exemplo de relatório gerado pelo SUNEYE.



(a)



(b)

Fig. 2. Relatório de acessibilidade solar gerado por *software*.

A Tabela I a seguir apresenta o nível de acesso solar médio mensal em cada estacionamento.

Tabela I - Acessibilidade média mensal de cada local avaliado.

Mês	Acessibilidade solar média mensal	
	Estacionamento 5O	Estacionamento 3P
Janeiro	95%	99%
Fevereiro	93%	99%
Março	93%	99%
Abril	90%	97%
Mai	87%	95%
Junho	86%	94%
Julho	87%	95%
Agosto	88%	96%
Setembro	92%	98%
Outubro	93%	99%
Novembro	94%	99%
Dezembro	95%	99%

De forma a estimar o número módulos fotovoltaicos a serem instalados sobre os telhados e nos estacionamentos, realizou-se a modelagem dos mesmos em terceira dimensão, instalando assim os painéis nessas modelagens e obtendo o número de módulos aproximado de uma situação real. Vale ressaltar, que toda a disposição dos painéis foi feita de forma a otimizar a produção de energia, ou seja, todos os componentes geradores foram orientados mediante o menor ângulo possível em relação ao hemisfério Norte. A Figura 3 demonstra como os arranjos foram distribuídos.

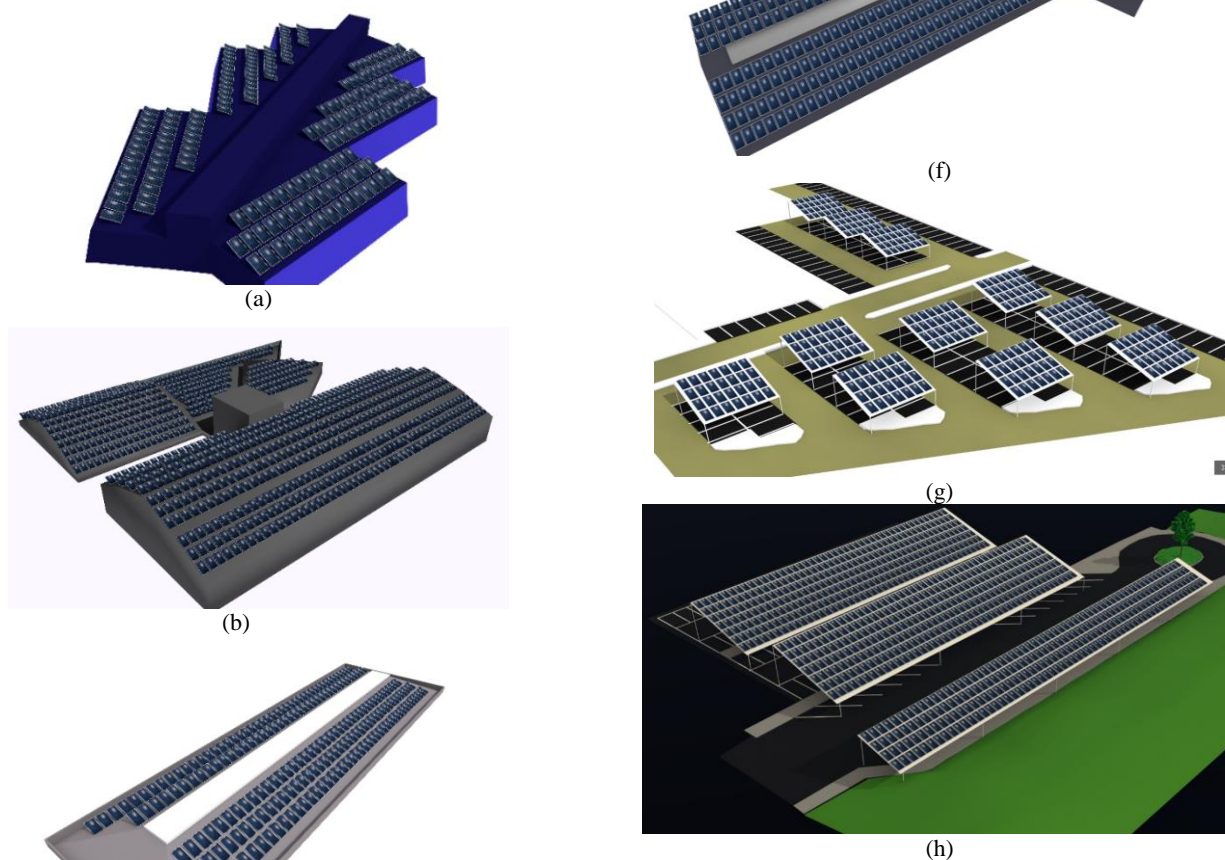


Fig. 3. Representação gráfica das instalações dos módulos fotovoltaicos do sistema proposto: (a) Bloco 3D; (b) Bloco 3Q; (c) Bloco 5RA ou 5OA; (d) Bloco 5RB ou 5OB; (e) Bloco 5V; (f) Bloco 5S; (g) Estacionamento do Bloco 5O; (h) Estacionamento do Bloco 3P (Reitoria).

III. PRODUÇÃO ENERGÉTICA ESTIMADA

Para constatar a produção de energia elétrica gerada em cada um dos blocos estudados, foram utilizados os dados colhidos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) [6] como base, juntamente com o *software* de simulação PVSYST. A Tabela II apresenta os dados climatológicos, típicos da cidade de Uberlândia-MG, fornecidos pelo INPE que apresentam grande influência sobre a geração solar fotovoltaica.

Tabela II – Dados climatológicos de Uberlândia-MG extraídos do INPE.

Mês	Irradiância (kWh/m ² .dia)	Temp. Ambiente (°C)
Janeiro	6.13	24.0
Fevereiro	5.76	24.2
Março	5.65	23.9
Abril	5.66	23.7
Mai	4.73	22.2
Junho	3.36	21.2
Julho	3.76	21.9
Agosto	5.54	24.1
Setembro	5.78	26.3
Outubro	6.71	25.7
Novembro	6.15	24.1
Dezembro	6.03	23.8
Anual	5.44	23.8

Desta forma, foi possível obter os seguintes resultados de produção anual, conforme é apresentado na Tabela III.

Tabela III - Produção anual estimada de energia elétrica UFV UFU.

Produção fotovoltaica total anual	1060,06 MWh/ano
Produção normalizada	1,58 MWh/kWp/ano
Produção 3D	49,00 MWh/ano
Produção 3Q	241,00 MWh/ano
Produção 5O-A / 5R-A	52,50 MWh/ano
Produção 5O-B / 5R-B	15,00 MWh/ano
Produção 5S	98,50 MWh/ano
Produção Estacionamento 3P	105,00 MWh/ano
Produção 5V	33,75 MWh/ano
Produção Estacionamento 5O	125,82 MWh/ano

IV. AVALIAÇÕES FINANCEIRAS E ENERGÉTICA

O impacto financeiro do sistema fotovoltaico a ser instalado não se restringe apenas ao consumo direto de energia elétrica, mas também sobre a demanda do local de instalação e entre outros fatores, considerando também que, neste caso, o consumidor não se encaixa na classe de consumidores residenciais, segundo a REN nº 414/2010 [7].

Portanto, deve-se levar em conta os seguintes fatores para uma estimativa financeira: consumo de energia no horário de ponta, consumo de energia fora do horário de ponta, demanda contratada no horário de ponta e demanda contratada no horário fora de ponta. Tais termos serão

explicados a seguir [7]:

- Horário de ponta: horário onde a tarifa incidente sobre a energia é mais custosa em relação aos outros horários. Consiste em três horas do dia, para a CEMIG D, das 17h às 20h;
- Horário fora de ponta: qualquer horário fora do horário de ponta, onde a tarifa de consumo é mais barata;
- Consumo de energia: quantidade de energia consumida pelo proprietário da conta;
- Demanda contratada: demanda contratada é o valor da potência máxima que o consumidor chega a consumir, caso esse valor seja ultrapassado o consumidor deverá pagar uma multa de ultrapassagem.

Ou seja, a instalação de um sistema fotovoltaico de geração, no caso em questão, não impacta somente o consumo de energia, mas em todos as tarifas supracitadas. Porém, para simplificar os cálculos financeiros, considerou-se que toda a energia consumida pela Universidade Federal de Uberlândia consistia em energia fora de ponta, o que torna o cálculo de retorno financeiro abaixo do real, ou seja, uma estimativa conservadora, onde, se um cálculo mais preciso fosse realizado, constataria-se que a instalação do sistema é mais vantajosa do que o esperado.

De forma a se obter uma melhor conclusão a respeito da implementação do sistema fotovoltaico, a Tabela IV abaixo apresenta uma comparação entre o nível de consumo em 2015/2016 e qual é a produção típica esperada para cada mês. Ressaltando que a produção estimada foi realizada pelo *software* PVSYST.

Tabela IV. Consumo energético 2015/2016 UFU e geração mensal típica esperada.

	Consumo mensal	Geração total estimada
ABR/2015	569.800 kWh	95.690 kWh
MAI/2015	574.000 kWh	88.669 kWh
JUN/2015	529.200 kWh	61.564 kWh
JUL/2015	527.800 kWh	70.752 kWh
AGO/2015	467.600 kWh	99.643 kWh
SET/2015	555.800 kWh	92.542 kWh
OUT/2015	676.200 kWh	103.727 kWh
NOV/2015	705.600 kWh	90.196 kWh
DEZ/2015	644.000 kWh	91.604 kWh
JAN/2016	446.600 kWh	92.678 kWh
FEV/2016	487.200 kWh	81.605 kWh
MAR/2016	564.200 kWh	92.408 kWh
TOTAL	6.784.000 kWh	1.061.078 kWh

A partir da análise da tabela acima, nota-se que, durante um ano, a redução de consumo estimada poderia chegar em aproximadamente **1.061.078 kWh**, ou seja, avaliando este valor financeiramente, aplicando a tarifa de 0,35289757 (tarifa fora do horário de pico), teríamos uma redução na conta anual da universidade em cerca de **R\$374.451,85**. Lembrando que os valores aqui encontrados se mostram conservadores.

Seguindo os preços médios de instalação estimados pelo EPE (Empresa de Pesquisa Energética) para o ano de 2016 [8], podemos fazer um levantamento de *payback* para este projeto. Ou seja, considerando que cada Wp instalado gere um custo de **R\$5,9**, pode-se verificar que para instalação de **671,75 kWp** seriam necessários **R\$3.963.325,00**. Considerando a

economia estimada no parágrafo anterior, o tempo de retorno – ou *payback* – seria de aproximadamente **11 anos**. Visto que esta é projeto de instalação em larga escala, pode-se esperar valores de tempo de retorno menores do que o avaliado aqui, já que os materiais quando adquiridos em grande quantidade tendem a sofrer uma redução de preço.

Uma outra análise relevante a ser feita é em relação ao consumo instantâneo, o qual em certos períodos do ano se demonstram tão elevados que acabam provocando multas e desligamentos da UFU à rede por conta da transgressão da demanda contratada.

A partir da análise das contas de energia elétrica direcionadas ao Campus Santa Mônica, verifica-se que, de abril/2015 a março/2016, a maior demanda registrada foi de 2.352 kW, sendo que a contratada se estabelece em 1.800 kW. Considerando também os seguintes fatores: este nível de demanda registrada é frequente nos meses de setembro, outubro e novembro; a capacidade máxima de geração instantânea do sistema proposto é de 671,75 kW (sob condições padrões de teste – STC); o pico de demanda foi verificado em outubro; a curva de consumo diário da UFU tem seu pico em horários onde a produção de energia por parte do sistema FV seria próxima do máximo (das 10:00h às 16:00h). Conclui-se que em situações de demanda medida maior do que a contratada, o sistema FV atuaria também próximo a sua maior capacidade, o que geraria uma redução na demanda registrada (2.352 – 671,75 \approx **1680,25 kW**), desta forma, multas por ultrapassagem e apagões seriam evitados, os quais são dois fatores muito relevantes se considerado o valor anual de multas a serem arcadas pela universidade e a necessidade de fornecimento de energia contínuo em alguns setores do campus.

Além das conclusões formuladas acima, podemos avaliar também que devido a diminuição da demanda registrada, a implantação da usina FV possibilitaria uma redução da demanda contratada ou, por segurança, apenas não haveria a necessidade de aumento desta e com isto, seriam evitados maiores gastos em criação de novas subestações. O que, no caso da redução, proporcionaria menores gastos por parte da UFU, já que pacotes de demanda de 0,1 MW exercem um valor considerável sobre o faturamento mensal.

Por fim, a partir das economias financeiras evidenciadas, supõe-se que o sistema retornaria o capital investido na instalação do sistema FV, pela universidade, em menos de 6 anos, já que vários fatores poderiam ter seus custos evitados ou reduzidos.

V. DESMEMBRAMENTO E CONSIDERAÇÕES DO PROJETO

Este trabalho foi realizado mediante diversas restrições, sendo algumas destas: área avaliada e inacessibilidade ao ambiente de instalação. Portanto, pretende-se em trabalhos futuros, a avaliação de novas áreas da UFU e geração de estudos com informações mais concisas.

É importante ressaltar que, para um projeto mais exato, ainda se faz necessário maiores precisões e detalhamentos. Portanto, seguem algumas considerações a serem feitas:

- Foi descartada a hipótese de geração de crédito a partir de uma geração de energia excedente ao consumo, isto por conta do elevado consumo averiguado no campus;

- Devido à falta de informação disponível ou *softwares* para elaboração de simulações específicas, não foi possível realizar uma estimativa precisa em relação a redução de demanda que a instalação da usina acarretaria e em quanto este processo reduziria nos gastos, porém a conclusão apresentada é fiel e condiz com a realidade atual;

- As ilustrações gráficas apresentadas para exemplificação de como se estabeleceria o sistema como um todo foram feitas de forma a otimizar ao máximo a produção energética, desta forma, outras opções podem ser aderidas, podendo-se priorizar redução de investimentos e/ou melhoria de estética;

VI. CONCLUSÃO

Dentre as várias possibilidades de microgeração e minigeração distribuída existentes, as quais foram regulamentadas pela RN 482 da ANEEL, o emprego dos painéis fotovoltaicos tem ganhado expressivo destaque, devido, entre outros motivos, ao elevado nível de radiação solar média existente em nosso país; à facilidade de instalação e manutenção deste sistema quando comparado por exemplo ao eólico; à não necessidade de ocupação de novas áreas uma vez que os painéis, via de regra, são instalados em telhados e terraços e, por fim, ao fato da incidência solar anual sofrer menor variação média quando comparada à energia eólica.

Neste cenário, este trabalho apresenta resultados satisfatórios e relevantes para viabilização da instalação de uma usina FV na Universidade Federal de Uberlândia, sendo esta uma nova alternativa cientificamente estimulante para obtenção de energia elétrica de forma eficiente para o campus.

Segundo os dados apresentados, a avaliação de apenas uma parcela da área da universidade já se demonstrou satisfatória para resolução de problemas de suprimento energético, como o caso de demanda medida maior do que a contratada. Além da solução desses problemas, este tipo de implementação se apresenta como uma boa alternativa por conta do rápido retorno estimado do investimento, isto como consequência dos gastos reduzidos por conta da geração de energia de forma eficiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Engenharia Elétrica, UFU, pelo apoio laboratorial obtido no Laboratório de Eficiência Energética e no Núcleo de Pesquisa em Eletrônica de Potência.

REFERÊNCIAS

- [1] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, “Energia Solar Fotovoltaica Conceitos E Aplicações”. Editora Saraiva, 2015.
- [2] RESOLUÇÃO NORMATIVA DA ANEEL, RN 482/2010. Brasil, 2010.
- [3] RESOLUÇÃO NORMATIVA DA ANEEL, RN 687/2015. Brasil, 2015.
- [4] <http://www.solmetric.com/downloads-suneye.html>.
- [5] <http://www.solmetric.com/buy210.html>.
- [6] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Projeto SWERA/INPE**. Disponível em: <<http://maps.nrel.gov/SWERA>>. Acesso em: 07 ago. 2014.
- [7] RESOLUÇÃO NORMATIVA DA ANEEL, RN 414/2010. Brasil, 2010. [8] RESOLUÇÃO

NORMATIVA DA ANEEL, RN 1507/2013. Brasil, 2013.[9] SALAMONI, I.T.; RÜTHER, R. **O Potencial Brasileiro da Geração Solar Fotovoltaica Conectada à Rede Elétrica: Análise de Paridade de Rede**. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. 2007.

- [8] [http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20\(Revisada\).pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20(Revisada).pdf).