

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DISTRIBUÍDOS: ESTUDO DE CASO DE UFV DE 2,16 KWP INSTALADA NO NÚCLEO DE PESQUISA EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA

Hiury S. Gomes, Rodolfo Rodrigues de Godoi, Fernando C. Melo e Luiz C. G. Freitas

Núcleo de Pesquisa em Eletrônica de Potência (NUPEP)

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT)

Uberlândia - Minas Gerais

e-mails: hiury11@gmail.com , lcfreitas@yahoo.com.br

Resumo – A inserção da energia fotovoltaica como fonte de energia limpa e renovável na matriz energética brasileira ganhou destaque considerável no cenário nacional e internacional através da RN482 da ANEEL em vigor desde Dezembro de 2012 e do Leilão de Reserva realizado exclusivamente para a energia fotovoltaica em 2014, onde de 1.048 MWp em projetos foram contratados. Não obstante aos avanços alcançados, principalmente no que tange os Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos, muitos desafios ainda precisam ser vencidos para que a inserção desta fonte de energia na matriz energética brasileira se torne mais expressiva. Neste cenário, destaca-se que, além dos custos envolvidos, a falta de conhecimento acerca das tecnologias de módulos fotovoltaicos, inversores solares, projeto de instalações em corrente contínua (CC), bem como a falta de mão de obra especializada, contribuem para que, mesmo após 2 anos da entrada em vigor da RN 482 da ANEEL, a implantação de unidades de micro e minigeração distribuída baseada em sistemas fotovoltaicos ainda seja inexpressiva. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo apresentar resultados práticos e teóricos que evidenciam a eficácia das ferramentas computacionais e equipamentos utilizados para projeto e implantação de Usinas Fotovoltaicas Distribuídas bem como seu ótimo desempenho na geração de energia elétrica.

Palavras-Chave – Energia Limpa, Fotovoltaico, Geração Distribuída, Inversor, Microgeração, Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica.

DISTRIBUTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: CASE STUDY OF A 2.16KWP PHOTOVOLTAIC POWER PLANT INSTALLED AT POWER ELECTRONICS RESEARCH GROUP

Abstract - The insertion of photovoltaics as a clean and renewable energy source in the Brazilian energy matrix has gained considerable prominence in the national and international scenarios by ANEEL normative resolution RN 482 in effect since December 2012 and by the Reserve Auction held exclusively for photovoltaics in 2014, where more than 1.0 GWp were commissioned. Despite the achieved progress, especially concerning the Distributed

Generation of Photovoltaics Systems, many challenges remain to be overcome so that the insertion of this energy source in Brazilian energy matrix will become more expressive. In this scenario, it is emphasized that, in addition to the costs involved, the lack of knowledge about the photovoltaic modules, solar inverter Technologies, design of direct current (DC) installations, as well as the lack of skilled labor, contribute to, even after two years of ANEEL's RN 482, the implementation of units of distributed micro and minigeration based on photovoltaic systems is still inexpressive. In this context, this paper aims to present practical and theoretical results that demonstrate the effectiveness of computational tools as well as the equipment used for designing and implementing the Distributed Photovoltaic Plants.

Keywords - Clean Energy, Distributed Generation, Grid-Connected PV System, Inverter, Microgeneration, Photovoltaic.

I. INTRODUÇÃO

De acordo com as estatísticas apresentadas na REN 21 (*Renewable Energy Policy Network*, 2013) [1], a demanda global por energia renovável aumentou consideravelmente nos anos 2011 e 2012, apesar da crise econômica que atingiu praticamente todos os países do mundo. As fontes renováveis de energia foram responsáveis por cerca de 19% da energia global consumida ao término de 2011. Desse total, a biomassa tradicional que é bastante utilizada em áreas rurais de países em desenvolvimento tem a parcela de 9,3% e as fontes renováveis modernas são responsáveis por 9,7%. Segundo dados do relatório supracitado, do final de 2007 até 2012, a capacidade instalada de várias tecnologias de energia cresceu muito rapidamente, principalmente no setor de energia elétrica. A capacidade total de sistemas de energia solar fotovoltaica (FV) autônomos e conectados à rede elétrica cresceu anualmente em média de 60%, sendo significativamente maior que as taxas de crescimento obtidas pelas outras tecnologias renováveis. De acordo com EPIA (*European Photovoltaic Industry Association*, 2014), a capacidade instalada mundial da energia fotovoltaica atingiu valores próximos a 139GWp em 2013.

No Brasil, devido ao grande potencial para geração de energia fotovoltaica [2]-[6], observam-se recentes avanços no contexto da inserção da energia fotovoltaica centralizada, merecendo especial destaque o Leilão de Energia de Reserva ocorrido em Outubro de 2014 através da Portaria nº 236/2014 do

Ministério de Minas e Energia. Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) foram contratados 31 projetos, totalizando 1.048 MW de capacidade instalada que vão injetar cerca de 889,7 MW na matriz energética brasileira a partir de 2017. Para o mês de Agosto de 2015 será realizado um novo leilão onde será contratada apenas energia solar gerada a partir de fonte solar fotovoltaica.

Vale destacar ainda a entrada em operação da Usina Fotovoltaica Cidade Azul de 3MW, localizada na cidade de Tubarão, no sul de Santa Catarina. Atualmente, com a energia gerada por essa usina é possível abastecer 2.500 casas diariamente, o que representa aproximadamente 25% de toda a energia solar produzida no Brasil.

Devido à grande expansão do setor, espera-se que também haja redução de custos e, por consequência, aumento da capacidade instalada. Diante do exposto, estima-se que haverá um grande aumento na Geração Fotovoltaica e espera-se que o mercado brasileiro seja o próximo mercado fotovoltaico a ser explorado pelas empresas do ramo, após o sucesso dessa tecnologia na Europa, Japão e EUA nos últimos anos.

Não obstante aos avanços alcançados, segundo dados da ANEEL, apenas cerca de 0,01% da energia elétrica consumida no país advém da energia solar. Dessa forma, diante do cenário atual caracterizado por uma grave crise no setor hidrológico que repercute com consequências prejudiciais à capacidade de geração de energia elétrica, observa-se que a Energia Fotovoltaica deve, o quanto antes, ser incorporada de forma substancial na matriz energética brasileira, devendo-se considerar tanto geradores fotovoltaicos centralizados (UFV de grande porte), quanto os geradores fotovoltaicos distribuídos os quais podem ser instalados nos telhados de residências, comércios, hospitais, escolas e indústrias por todo o Brasil.

Diante deste cenário, este artigo apresenta os resultados decorrentes da execução e análise de desempenho de uma Usina Fotovoltaica de 2,16 kWp Conectada à Rede Elétrica de Baixa Tensão. Esta se encontra instalada nas dependências do Núcleo de Pesquisa em Eletrônica de Potência, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Uberlândia (UFV NUPEP-FEELT-UFU). Adicionalmente, são apresentados dados preliminares de irradiação e temperatura obtidos com a instalação de uma Estação Solarimétrica no local de instalação da microusina fotovoltaica em pauta. Dessa forma, este trabalho tem como principal objetivo esclarecer diversas incertezas que consumidores em geral possuem e que dificultam a ampliação de geradores fotovoltaicos distribuídos em todo o Brasil. Para tanto, são apresentados os devidos esclarecimentos quanto aos principais agentes envolvidos (Concessionárias, Consumidores, Estado e Empresas) afim de facilitar a tomada de decisão com relação à instalação ou não de uma unidade de mini ou microgeração distribuída.

II. PROJETO E ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 2,16 kWp CONECTADO À REDE ELÉTRICA

Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCE) são aqueles em que o excedente de energia elétrica gerada é injetado na rede elétrica da concessionária local e, portanto, elementos acumuladores de energia elétrica, tal como baterias,

não são utilizados. A eliminação do banco de baterias é vantajosa, pois as mesmas apresentam tempo de vida útil relativamente curto e custo elevado.

Para este projeto foram considerados os índices de irradiação solar e de temperatura do local em que será feita a instalação. Para a aquisição dos dados de irradiação, consultou-se o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) [2], [5]. O projeto foi realizado utilizando-se o programa PVSYS e os resultados foram confrontados com os dados teóricos apresentados em [7], ficando evidenciada a coerência entre resultados obtidos.

A região de Uberlândia está situada na Latitude 18°55'11,50" Sul e Longitude 48°15'31,06" Oeste, e a 887 metros acima do nível do mar, com temperatura média anual em torno de 22°C. Segundo dados do INPE, Uberlândia está entre as melhores regiões do país em termos de potencial para produção de energia elétrica, com irradiação global média no plano inclinado em torno de 1984,5 kWh/m²/ano, proporcionando, em média, algo em torno de 1.500,0 kWh/kWp/ano.

A. Análise de Acesso Solar

Na Figura 1 é apresentada a reprodução das instalações do Núcleo de Pesquisa em Eletrônica de Potência (NUPEP) para fins de análise computacional acerca do desempenho do sistema. O estudo de caso desenvolvido no NUPEP trata de uma Usina Fotovoltaica (UFV) com capacidade de 2.160 Wp (Watt-pico) obtida através da conexão em série de 16 módulos fotovoltaicos de 135 Wp, modelo KD135X-UPU, da Kyocera. Estes foram orientados para o Norte com desvio azimutal de -13° e inclinação de 20°, alimentando um inversor FRONIUS IG 2000, o qual permite a conexão com a rede elétrica.

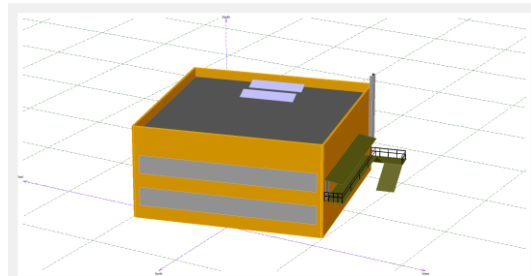


Fig. 1. Reprodução das instalações do NUPEP para avaliação computacional acerca do potencial de geração de energia elétrica.

A Figura 2 ilustra o percurso solar ao longo de um ano. Nos meses do Inverno a duração dos dias é menor que a das noites, sendo que no dia 21 de Junho ocorre o Solstício de Inverno. Nos meses do Verão, a duração dos dias é maior, sendo que por volta do dia 21 de Dezembro ocorre o Solstício de Verão. No período da manhã, antes das 7 horas, o Sol nascerá atrás dos arranjos FV na maior parte das estações do ano, reduzindo-se a produção energética total do sistema. A área em tom de cinza indica o sombreamento causado pelas platibandas presentes na edificação e obstáculos como árvores e prédios localizados nas imediações.

A escolha do local de instalação levou em consideração a análise do acesso solar realizada através da medição de irradiação solar em 8 (oito) diferentes pontos na superfície do telhado. Na Figura 3 são apresentados os resultados obtidos, ilustrando os pontos de medição e o mapa do acesso solar obtido.

Conforme observado, devido à própria característica da edificação escolhida e a existência de árvores de grande porte nas proximidades do telhado, há uma região onde a incidência de luz solar é extremamente reduzida, devendo, portanto, ser evitada afim de maximizar a produção de energia elétrica evitando perdas decorrentes de sombreamento dos módulos.

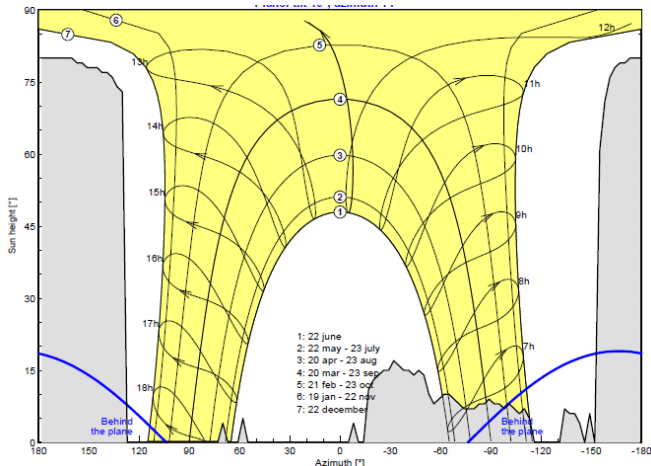


Fig. 2. Curvas de sombreamento obtidas no local de instalação e também utilizadas para avaliação computacional do desempenho do sistema (Posição 8, em frente as mesas).

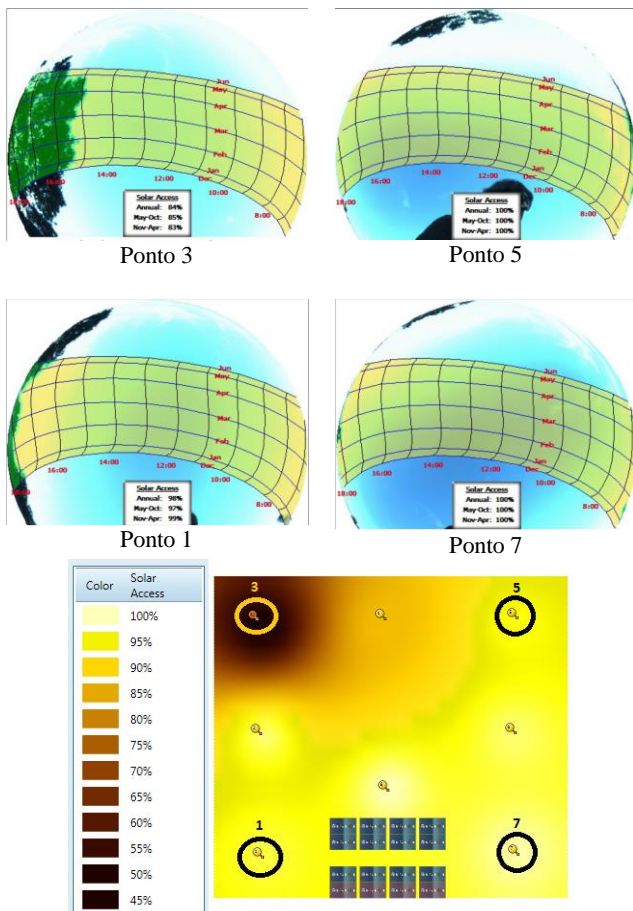


Fig. 3. Análise do acesso solar no local de instalação escolhido.

B. Sistema Fotovoltaico Executado

A Figura 4 mostra o local em que as instalações e os estudos supramencionados estão sendo realizados. Todos os componentes utilizados foram especificados para a obtenção da máxima geração de energia elétrica com o mínimo de perdas seguindo-se as normas nacionais [8], [11] e [12] assim como normas internacionais [9] e [10].

Os valores de tensão e corrente para o ponto de máxima potência dos módulos são fornecidos levando em consideração as Condições Padrão de Testes, conforme apresentado na Tabela I. Nesse sentido, o valor da tensão de circuito aberto deve ser avaliado levando-se em consideração a faixa de temperatura no local da instalação e o coeficiente de temperatura fornecido na folha de dados do fabricante. Na Fig. 5 são apresentadas as curvas características de Corrente (I-V) e de Potência (P-V) do módulo em função da tensão em seus terminais em diferentes condições de irradiação solar para uma temperatura média de operação de 45° C, evidenciando a forte influência da temperatura no desempenho do gerador fotovoltaico.

Na Tabela II são apresentados os principais parâmetros encontrados na folha de dados do Inversor Solar utilizado. Este é responsável pela extração da máxima potência instantânea disponibilizada pelo arranjo fotovoltaico instalado e efetua o paralelismo e o sincronismo com a rede elétrica. Maiores detalhes acerca do dimensionamento de cabos e dispositivos de proteção utilizados podem ser encontrados em [7].



(a)

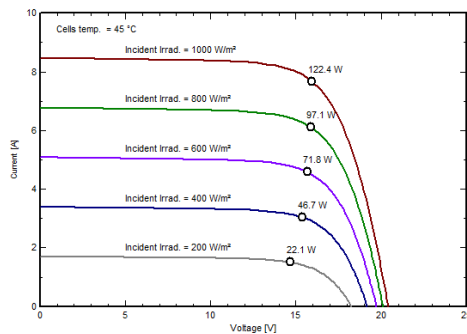


(b)

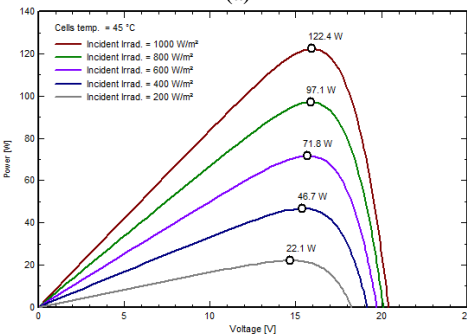


(c)

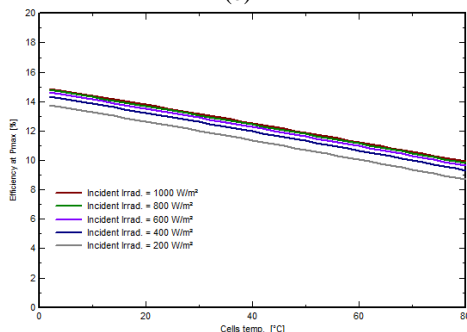
Fig. 4. Local onde as instalações foram feitas: (a) Em vermelho está destacada a posição em que foram instalados os painéis; (b) foto dos 16 módulos instalados; (c) Inversor Fronius IG e componentes de sensoriamento e monitoramento.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Curvas características do Módulo Fotovoltaico Kyocera KD135SX-UPU para diferentes condições de irradiação solar (a) Curva V vs. I (b) Curva V vs. P (c) Eficiência vs. Temperatura.

TABELA I. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

Módulo Fotovoltaico Kyocera KD135SX-UPU	
Tensão MPP, V_{MPP}	= 17,7 V
Corrente MPP, I_{MPP}	= 7,63 A
Tensão de Circuito Aberto, U_{OC}	= 22,1 V
Corrente de Curto-Circuito, I_{SC}	= 8,37 A
Coefficiente de Temperatura da Tensão (U_{OC})	= -0,08 A/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente (I_{SC})	= -0,00502 A/°C
Eficiência do Módulo, η	= 14,0%
(STC: T=25°C, G=1000 W/m², AM=1.5).	

TABELA II. CARACTERÍSTICAS DO INVERSOR FRONIUS IG 2000

Dados de entrada CC	
Potência do Painel recomendada	1500 a 2500 Wp
Máxima tensão de entrada DC	500 V
Faixa de tensão de operação DC de MPPT	150 a 450 V
Máxima corrente de entrada DC	13,6 A
Dados de saída CA	
Máxima potência de saída a 40°C	2000 W
Tensão nominal de saída CA	220 V
Faixa de tensão da rede elétrica CA	180 a 264 V
Máxima corrente CA	8,35 A
Máxima corrente de retorno	0 A
Faixa de frequência de operação	59,3 a 60,5 Hz
Distorção harmônica total THD	< 5 %
Fator de potência	1
Dados gerais	
Máxima eficiência	95,2 %
Consumo durante a operação	7 W
Consumo em <i>stand-by</i>	<0,15 W (noite)
Faixa de temperatura ambiente	- 25 a 50 °C
Tamanho (L x C x H)	470 x 418 x 223 mm
Peso	11,8 kg

III. DISCUSSÃO ACERCA DOS RESULTADOS OBTIDOS

A. Análise de desempenho

O sistema em questão foi colocado em operação no dia 28 de Maio de 2013 em caráter experimental e a partir de Janeiro de 2014 foi conectado à rede em definitivo. A partir de então, a geração de energia elétrica tem sido monitorada e os dados da geração diária são armazenados em um sistema de aquisição dedicado. Os dados obtidos foram confrontados com os dados de projeto e a elevada eficiência do sistema foi comprovada. Destaca-se que no ano de 2014 a Microusinas Fotovoltaica em pauta gerou 3.077,11 kWh, equivalente a 1.454,21 kWh/kWp/ano.

Para a região de Uberlândia, em que a irradiação global média no plano inclinado em torno de 1.984,5 kWh/m².ano, este resultado se mostra bastante satisfatório. Um dos principais fatores que contribuíram para uma geração de energia média anual inferior aos 1.500,00 kWh/kWp/ano pode ser atribuído, principalmente, à baixa eficiência dos módulos utilizados (14%) e à diferença entre a potência real e a informada pelo fabricante. Nesse sentido, vale ressaltar que os dados de projeto comprovam que a geração de energia elétrica anual média esperada é em torno de 1.489,00 kWh/kWp/ano e Taxa de Desempenho (TD) ou *Performance Ratio (PR)* estimada e medida foi de 71,5% e 69,18%, respectivamente, conforme evidenciado na Tabela III. O fator de capacidade aferido durante o ano

de 2014 do sistema está em consonância com o valor de projeto, assim como os resultados práticos obtidos, conforme evidenciam as Figuras 6 e 7.

Neste cenário é possível inferir que as perdas por aquecimento nos módulos fotovoltaicos e a discrepância entre a potência real dos módulos fotovoltaicos e a potência informada pelo fabricante (potência de pico) são uns dos principais fatores que contribuem para a diferença entre os valores medidos e estimados. Dessa forma, esses resultados indicam que ainda se faz necessário analisar a eficiência do inversor solar, assim

como os níveis de insolação e de temperatura de operação dos módulos. Estes trabalhos já se encontram em andamento e os resultados a serem obtidos serão apresentados em futuros trabalhos. Por enquanto, é apresentado na Figura 8 o perfil diário de irradiação e temperatura de operação das células medidos no dia 30/05/2015. Dados como esse serão confrontados com os disponibilizados pelo INPE e utilizados para aferição da real potência incidente nos módulos e, por consequência, do desempenho do sistema.

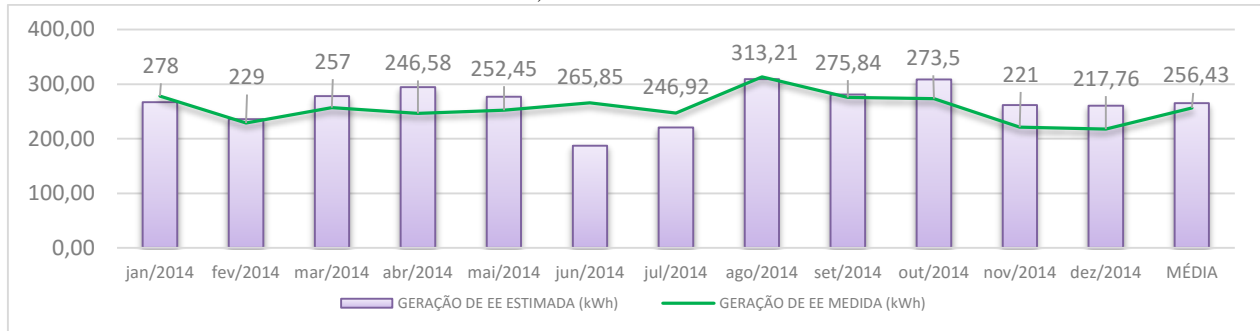


Fig. 6. Comparação entre os valores medidos e estimados via plataforma computacional utilizados dados do INPE.

TABELA III. SÍNTESE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS

Item	Projetado	Medido
Geração de Energia Anual	3.215 kWh/Ano	3.077,11 kWh/Ano
Produção Normalizada	1.489,00 kWh/kWp	1.454,21 kWh/kWp
Fator de capacidade	16,99%	16,26%
Taxa de Desempenho	71,5%	69,18%

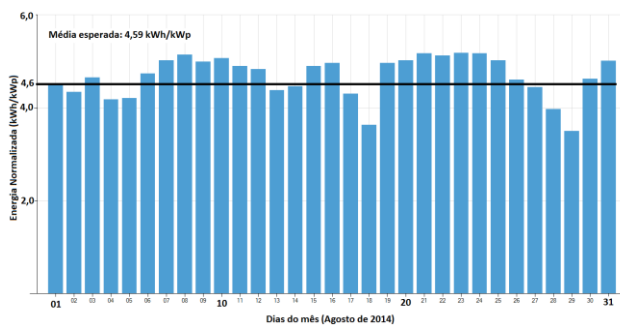


Fig. 7. Perfil de produtividade mensal da UFV obtido através do sistema de aquisição e armazenado de dados.

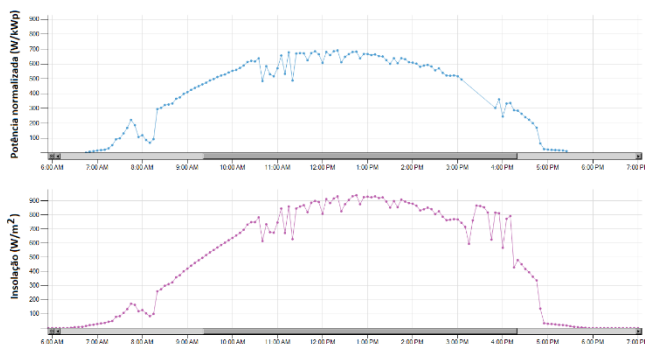


Fig. 8. Perfil diário da potência injetada e de insolação sobre os módulos fotovoltaicos.

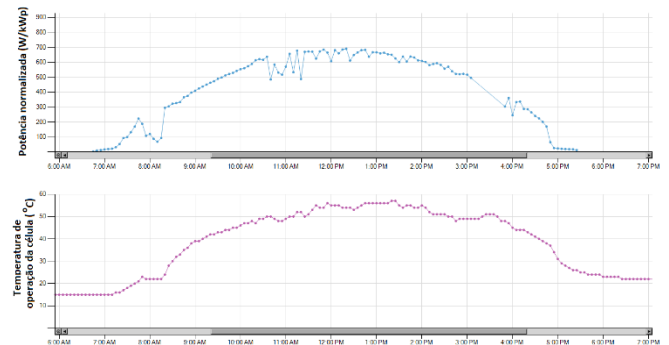
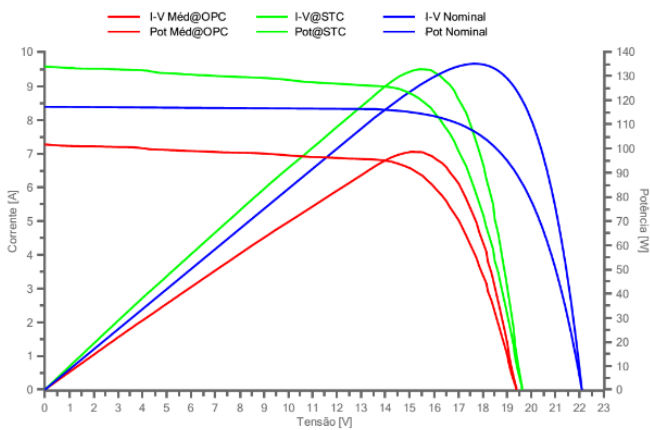


Fig. 9. Perfil diário da potência injetada e da temperatura de operação das células que compõem os módulos fotovoltaicos.

Na Figura 10 são apresentados dados obtidos através de medições das curvas características dos módulos fotovoltaicos que compõem a string da UFV em pauta. Observa-se a diferença de 1,7% entre a potência máxima informada pelo fabricante e potência máxima medida em STC (Standard Test Conditions). Em trabalhos futuros, esses dados serão de suma importância para avaliação final acerca da eficiência do sistema como um todo. Durante os testes realizados, os valores de irradiação e temperatura de operação das células fotovoltaicas obtidos foram de 746 W/m^2 e 53°C , respectivamente.

B. Análise da qualidade de energia injetada na rede

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos através de medições dos parâmetros de qualidade de energia elétrica no ponto de conexão da UFV à rede de distribuição interna do Campus, a saber: Distorsão Harmônica Total da Tensão – DHT_V; Distorsão Harmônica Total da Corrente - DHT_I e Frequência.



Nº de Módulos	Pmáx [W]	Voc [V]	Vmp [V]	Inpp [A]	Isc [A]	Irradiância [W/m²]	Temp. dos Módulos [°C]
16	1576,64	310,4	241,12	6,54	7,26	746	53
1	98,54	19,4	15,07	6,54	7,26	746	53
1	132,7	19,6	15,4	8,52	9,52	1000	25
1	135,0	22,1	17,7	7,63	8,37	1000	25

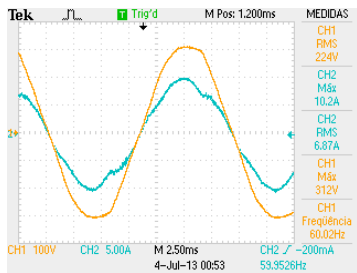
Fig. 10. Curvas características dos módulos fotovoltaicos fornecidas pelo fabricante (AZUL), e obtidas em laboratório para as condições de teste padrão (VERDE) e para as condições de operação durante a realização do ensaio (VERMELHO).

A Figura 11(a) mostra a forma de onda da Tensão e Corrente na saída do inversor, e as Figura 11(b) e Figura 11(c) apresentam o conteúdo harmônico destas no ponto de conexão com a

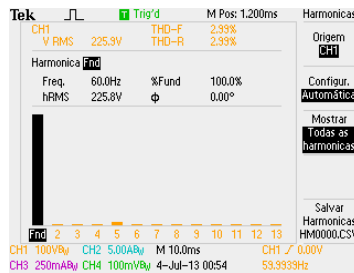
rede, no qual a distorção harmônica da tensão medida foi em torno de 2,99% e da corrente medida foi de 6,42%. Conforme esperado, a distorção harmônica da tensão na saída do inversor fica abaixo dos 5% previstos pela norma. Já a distorção harmônica da corrente é variável, estando fortemente atrelada às características das cargas ligadas no circuito. Portanto, conforme evidenciado em [13], elevados valores de DHT₁ podem ser atribuídos às cargas não lineares presentes na instalação (Reatores eletrônicos, fontes de alimentação chaveadas, etc.) e deve ser aferida durante os ensaios de conformidade a que os inversores solares devem ser submetidos.

C. Desdobramentos do Projeto de Pesquisa

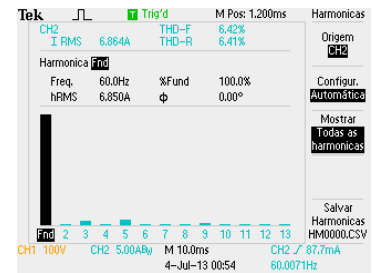
Além dos trabalhos de pesquisa e desenvolvimento de Inversores e técnicas de controle para extração de máxima potência e para injeção de potência na rede elétrica, em parceria com a empresa BRC ENERGIA LIMPA, trabalhos voltados para avaliação de desempenho de Micro e Miniusinas fotovoltaicas distribuídas vem sendo realizados. Sistemas instalados em Uberlândia e região estão sendo monitorados e os resultados práticos encontrados até agora confirmam o grande potencial da região sudeste e centro-oeste para geração fotovoltaica, conforme ilustram as Figuras 13(a) e (b), onde as barras em azul representam os valores de projeto e as barras em verde representam os valores de energia elétrica gerada pelo sistema monitorado.



(a)

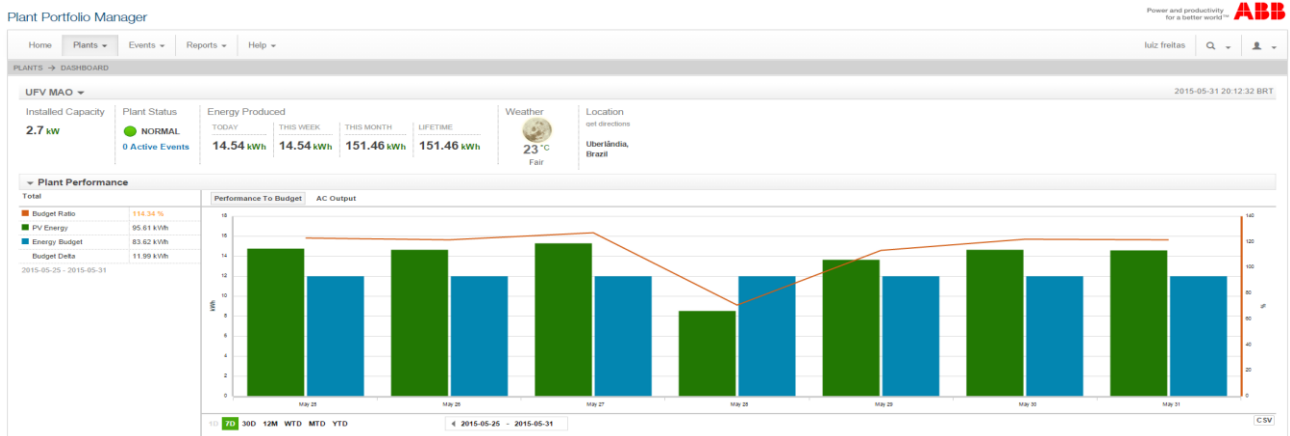


(b)

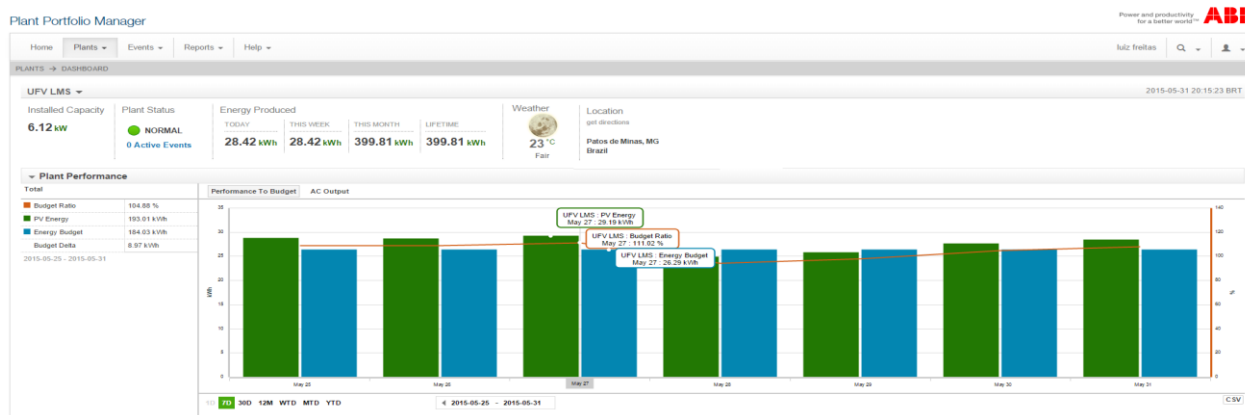


(c)

Fig. 11. (a) Tensão e Corrente no ponto de conexão do inversor FRONIUS com a Rede Elétrica, (b) Componentes harmônicas da tensão no ponto de conexão do inversor FRONIUS com a Rede Elétrica, (c) Componentes harmônicas da corrente no ponto de conexão do inversor FRONIUS com a Rede Elétrica.



(a)



(b)

Fig 12. Análise de desempenho de duas UFVs instaladas nas cidades de (a) Uberlândia-MG - 2,7 kWp - com módulos de silício monocristalinos e (b) Patos de Minas-MG – 6,12 kWp - com módulos de silício policristalinos.

IV. CONCLUSÕES

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 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 práticos e teóricos que evidenciam a eficácia das ferramentas computacionais assim como de equipamentos utilizados para o projeto e implantação de Usinas Fotovoltaicas Distribuídas. O sistema em questão foi colocado em operação no dia 28 de Maio de 2013 em caráter experimental e a partir de Janeiro de 2014 foi conectado à rede em definitivo. Os dados obtidos foram confrontados com os dados de projeto e a elevada eficiência do sistema foi comprovada. Destaca-se que no ano de 2014, a Microunidade Fotovoltaica em pauta gerou 3.077,11 kWh, equivalente a 1.454,21 kWh/kWp/Ano. O fator de capacidade aferido durante o ano de 2014 foi de 16,22% do sistema, estando em consonância com o valor de projeto.

No contexto da qualidade da energia elétrica injetada, conforme esperado, a distorção harmônica da tensão na saída do inversor fica abaixo dos 5% previstos pela norma. Já a distorção harmônica da corrente é variável, estando fortemente atrelada às características das cargas não lineares presentes na instalação (reatores eletrônicos, fontes de alimentação chaveadas, etc.) e deve ser aferida durante os ensaios de conformidade a que os inversores solares devem ser submetidos.

AGRADACIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo apoio financeiro, realizados através dos processos APQ-01219-13 e TEC-PPM00565-13, e pelo CNPq através dos processos 406845/2013-1 e 304307/2013-0.

V. REFERÊNCIAS

- [1] MARTINOT, E.; SAWIN, J. L. **Renewables Global Status Report**. REN 21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century), Frankfurt School, p. 18-25, 2013. Disponível em: <<http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx>>. Acesso em: 04 out. 2013;
- [2] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Projeto SWERA/INPE**. Disponível em: <<http://maps.nrel.gov/SWERA>>. Acesso em: 07 ago. 2014.
- [3] 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.
- [4] ROVERE, E. L. L.; VALLE, C.; PEREIRA, A. **Subsídios para o Planejamento da Promoção da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. Relatório Técnico do Projeto “A Carta do Sol”**; Elaborada pela Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia (Coppe) – UFRJ; assinada pelos secretários estaduais do Meio Ambiente, Carlos Minc, e de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços, Júlio Bueno, 2011.
- [5] PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R., ABREU, S.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 1^a Edição, 2006.
- [6] ALMEIDA, M. P. **Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**, 2012. 161 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- [7] SPADUTO, R. R.; MELO, F. C.; CARVALHO, R. A.; FREITAS, L. C. G. **Projeto de um sistema fotovoltaico de 2,16 kWp conectado à rede elétrica**. XI CEEL - XI Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, Uberlândia, 2013.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.
- [9] IEEE. **IEEE Std 1547**: IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, p. 1-16, 2003
- [10] IEEE. **IEEE Std 929**: Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems. 2000.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16149**: Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da Interface de Conexão com a Rede Elétrica de Distribuição. Rio de Janeiro, 2013.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16150**: Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da Interface de Conexão com a Rede Elétrica de Distribuição – Procedimento de Ensaio de Conformidade. Rio de Janeiro, 2013.
- [13] MELO, F. C.; SPADUTO, R.; FREITAS, L.C.G.; TAVARES, C. E.; MACEDO JR., J. R.; REZENDE, P. H. **Harmonic Distortion Analysis in a Low Voltage Grid-Connected Photovoltaic System**. Revista IEEE América Latina, v. 13, p. 136-142, 2015.