

## MICRO USINA FOTOVOLTAICA COMERCIAL MIRAMONTES: EXPANSÃO, ALTERAÇÕES E ANÁLISE DO DESEMPENHO

**Gustavo Malagoli Buiatti** – gustavo@alsolenergia.com.br

**Rafael Alexandre Silva de Carvalho** – rafael.carvalho@alsolenergia.com.br

**Vitor Sleiman Mariano** – vitor@alsolenergia.com.br

ALSOL Energias Renováveis S/A

**Luciano Mendes da Silva** – lucianomendes@efficientia.com.br

**Marcos Leporate** – leporate@efficientia.com.br

**Márcio Eli Moreira da Silva** – msouza@cemig.com.br

Efficientia/CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais S/A

**Luís Guilherme Monteiro Oliveira** – luis.monteiro@pucminas.br

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Energia

**Resumo.** A micro usina fotovoltaica Miramontes (UFV Miramontes), localizada no triângulo mineiro na cidade de Uberlândia, estado de Minas Gerais, entrou em operação em junho de 2013 com uma potência instalada de 3,29 kWp. Com o objetivo de aumentar a participação da geração fotovoltaica desta pequena usina, em relação à energia consumida no estabelecimento comercial onde a mesma foi implantada e respeitando as limitações de espaço ocioso do imóvel e de potência máxima a ser injetada na rede de distribuição, a UFV foi ampliada para 68,62 kWp em abril de 2015. Dessa forma, neste trabalho são apresentados os resultados das simulações realizadas através do software PVSyst© versão 6.25 e os mesmos são comparados com os dados reais de geração. Além disso, são também apresentados os resultados de desempenho da produtividade do sistema, antes e depois da ampliação, e os aspectos técnicos relacionados às diferentes fases da UFV, juntamente com o processo de definição do layout dos arranjos fotovoltaicos adotados na ampliação são discutidos neste trabalho.

**Palavras-chave:** Micro Geração Distribuída fotovoltaica, Simulação, Expansão, Desempenho.

### 1. INTRODUÇÃO: CRESCIMENTO DA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Atualmente, a energia solar fotovoltaica começa a se apresentar como uma fonte que está se tornando realidade e se consolidando no Brasil, principalmente na forma da geração distribuída (GD). Este processo se iniciou com a publicação da Resolução Normativa (RN) nº 482/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 17 de abril de 2012 (Aneel, 2014). Desde então, e de acordo com dados da própria agência reguladora, apresentados durante a Audiência Pública nº 026/2015, que ocorreu no dia 19 de junho de 2015 em Brasília/ DF durante o processo de revisão da RN nº482, até aquele momento foram conectadas à rede elétrica cerca de 670 unidades de geração distribuída que utilizam o sistema de compensação (“*Net metering*”, em inglês) estabelecido pela referida resolução, dos quais a participação da fonte fotovoltaica representa 632 unidades geradoras, ou seja, 94,3% (Castro, 2015).

Levando em consideração as 632 unidades fotovoltaicas acumuladas, das quais 98% são unidades de microgeração com potência instalada inferior a 100kW, e considerando os 10 trimestres de dezembro de 2012 a junho de 2015, que se passaram desde a primeira conexão do Brasil realizada na cidade de Uberlândia-MG, a fonte fotovoltaica apresenta uma Taxa Composta de Crescimento Trimestral (*Compounded Quarterly Growth Rate* – CQGR, em inglês) da ordem de 55% por trimestre. Este número é bem mais expressivo que a Taxa Composta de Crescimento Anual o (*Compounded Annual Growth Rate* – CAGR, em inglês) da potência fotovoltaica instalada no mundo (total de 178,4 GWp acumulados), entre os anos 2000 a 2014, que foi de 39% ao ano (Global,2015).

Segundo os dados apresentados pela ANEEL (Castro, 2015), a geração distribuída apresentava até então uma potência instalada de 9,6 MW no escopo da RN nº 482, sendo 70% desta potência oriunda da fonte fotovoltaica (6,7 MWp). Dentre as distribuidoras com o maior número de conexões a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) se destacava, até então, como a principal distribuidora do país em número de conexões de unidades de GD, com um total de 124 unidades conectadas a rede elétrica, ou seja, 18,5% de todas as conexões do Brasil.

Por outro lado, considerando os pareceres de acesso já emitidos pela concessionária de energia mineira, e em fase de conexão até junho de 2015, o número era de 267 unidades representando assim mais que o dobro do que está registrado na ANEEL no mesmo período, com um CQGR ainda mais agressivo e da ordem de 69% por trimestre. Considerando os dados de potência acumulada de todas estas unidades o valor de 1,69 MWp foi alcançado pelo estado de Minas Gerais, com um CQGR de 43% por trimestre em termos de potência acumulada no mesmo período, com crescimento na mesma ordem de grandeza do crescimento mundial.

Neste contexto, um entre as centenas de micro geradores que fazem parte destas estatísticas da ANEEL e da CEMIG é a micro usina fotovoltaica de Miramontes (UFV Miramontes), que entrou em operação em julho de 2013 com

a modesta potência instalada de 3,29 kWp, e que em abril de 2015 passou por um processo de expansão e aumentou sua potência instalada para 65,31 kWp. Dessa forma, a UFV Miramontes é descrita e analisada, em detalhes, nas seções seguintes.

## 2. UFV MIRAMONTES

### 2.1 Instalação: 2013 (Sistema FV: 3,29 kWp)

A UFV Miramontes, como já mencionado, entrou em operação em julho de 2013, sendo enquadrada no sistema de compensação regulamentado através da RN nº 482/ANEEL. A mesma era constituída por 14 módulos fotovoltaicos de tecnologia policristalina com potência de pico de 235 Wp/módulos do fabricante Sun-Earth (modelo TPB156x156-60-P, certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), classe A de eficiência energética) conectados em série (string, em inglês), sendo os mesmos acoplados a um inversor com isolamento galvânica de alta frequência do fabricante Eltek (modelo He-t) e potência nominal de 3,8 kW. A UFV, com potência instalada de 3,29 kWp, foi instalada sobre o telhado, com desvio azimutal de 17° Noroeste, do estabelecimento comercial na cidade de Uberlândia - MG e o sistema e seus parâmetros energéticos foram monitorados, através do software fornecido pelo fabricante do inversor. A Fig. 1 mostra a vista aérea do local de instalação da micro geração através do Google Earth®.

O string elétrico foi dividido em 2 mesas compostas por 7 módulos FV, obedecendo a mesma orientação do telhado do imóvel, porém utilizando uma estrutura de sustentação com 20° de inclinação, onde nesta condição as perdas da irradiação anual em relação ao Norte com 17° de desvio azimutal são mínimas, como mostra estudo de Santos (2014), corrigindo o desnível do telhado de fibrocimento (10%) e elevando os módulos a uma altura superior às platibandas da edificação, de forma a eliminar os efeitos negativos de sombreamento próximo e favorecendo a ventilação dos módulos fotovoltaicos conforme mostra a Fig. 2. Em Uberlândia, a irradiação média diária é de 5,41 kWh/m<sup>2</sup>/dia no plano horizontal e temperatura ambiente média de 22°C, (Inpe, 2015).



Figura 1 - Vista superior da empresa Miramontes em Uberlândia, MG (Fonte: Google Earth®, 13/09/2010)



Figura 2 – UFV Miramontes em julho de 2013 (2 mesas com 7 módulos FV de 235 Wp/cada, totalizando 3,29 kWp)

Utilizando a configuração e características físicas descritas anteriormente do micro gerador, o mesmo foi modelado no software PVSyst® versão 6.25, considerando também todos os objetos adjacentes e entorno da instalação, e simulações foram realizadas utilizando informações solarimétricas / meteorológicas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Assessment*, em inglês), disponíveis em (Swera,2015). Os resultados da simulação computacional levaram a uma previsão de geração anual de energia para o sistema de 5123 kWh/ano (média de 430 kWh/mês). Durante o ano de 2014, entre janeiro e dezembro, a geração real foi de 5157 kWh, ou seja, o erro na previsão realizado pela simulação foi de apenas de 0,7% em relação à geração real. A Tab.1 mostra os dados reais de geração de energia, mensal e anual, e da produtividade específica anual para UFV Miramontes.

Tabela 1 – Geração mensal, anual e produtividade específica anual para a UFV Miramontes (3,29 kWp) em 2014

<b>Janeiro 2014</b>	449,88 kWh	<b>Agosto 2014</b>	515,98 kWh
<b>Fevereiro 2014</b>	398,11 kWh	<b>Setembro 2014</b>	465,58 kWh
<b>Março 2014</b>	353,34 kWh	<b>Outubro 2014</b>	482,53 kWh
<b>Abril 2014</b>	405,07 kWh	<b>Novembro 2014</b>	393,40 kWh
<b>Mai 2014</b>	455,78 kWh	<b>Dezembro 2014</b>	389,98 kWh
<b>Junho 14</b>	436,02 kWh	<b>Total 2014</b>	5.157,27 kWh
<b>Julho 2014</b>	411,60 kWh	<b>kWh/Wp/ano</b>	<b>1,57</b>

## 2.2 Expansão: 2015 (Sistema FV: 68,62 kWp) / Análise de layouts através do PVsyst® 6.25

O estabelecimento comercial que leva o nome da UFV discutida neste trabalho, apresentava, entre maio de 2012 a junho de 2013, um consumo total registrado de 99.520 kWh. Com o objetivo de aumentar a parcela de contribuição da geração própria de energia elétrica, diferentes estudos de layouts foram realizados nas áreas disponíveis e mais adequadas à instalação de arranjos fotovoltaicos adicionais. A área disponível total de telhado do imóvel é de 1924 m<sup>2</sup> (ver Fig. 3) sendo a mesma separada em diferentes subáreas por platibandas e por uma única porção mais elevada que todas as outras, como pode ser vista na Fig. 2 ao fundo do arranjo de 3,29 kWp. Após a avaliação de todas as distintas porções de telhados disponíveis, concluiu-se que deveriam ser utilizados os telhados ao norte da porção mais elevada, identificados como A<sub>1</sub> a A<sub>3</sub>, ver Fig. 4, evitando-se os telhados posicionados ao lado de A<sub>4</sub>, por este último ser uma fonte de sombreamento constante. Cabe salientar que devido à altura, formato abalroado e frágil da cobertura do telhado A<sub>4</sub>, foi também levando em consideração o quesito segurança. Desta forma, este telhado foi evitado na análise de layouts, restando as áreas A<sub>1</sub> a A<sub>3</sub> como os locais mais adequados para instalação dos arranjos fotovoltaicos.

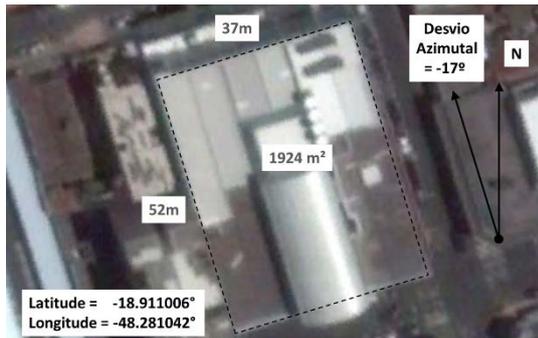


Figura 3 - Vista superior da empresa Miramontes em Uberlândia, MG (Fonte: Google Earth®, 25/02/2014)



Figura 4 – Áreas A<sub>1</sub> a A<sub>4</sub>, com potencial para instalação de arranjos fotovoltaicos

Uma vez definidas as áreas, iniciou-se a avaliação dos layouts, ou disposições, dos arranjos fotovoltaicos. A primeira opção levou em consideração a adoção de disposição em mesas, assim como a instalação já existente de 3,29 kWp, devido ao excelente desempenho obtido de 1,57 kWh/Wp/ano obtido em 2014.

Na área de telhado A<sub>1</sub>, optou-se por adotar uma distância entre os pontos iniciais de cada mesa de 2,1 metros, o chamado “pitch”, que leva em consideração o comprimento dos módulos e o espaçamento entre mesas (Labouret, 2009), e inclinação de 15°. Com tais características, as perdas pelo sombreamento mútuo entre as mesas seria de 2,7%. A título de comparação, uma inclinação de 18° e “pitch” de 2,3 metros levariam às mesmas perdas, mas com a desvantagem de utilizar mais material na estrutura de suporte, aumentando o custo, e de reduzir a área disponível para a instalação de módulos fotovoltaicos. Assim, 4 mesas de 11 módulos FV de 235 Wp, do mesmo fabricante / modelo da instalação de 2013, na posição vertical (1,00 x 1,7 metros) e 5 mesas de 9 módulos resultam um total de 89 módulos FV com potência instalada total de 20,915 kWp. Os arranjos foram conectados a dois inversores de potência nominal igual a 4,4 kW e mais três inversores de potência nominal de 3,8 kW do mesmo fabricante / modelo da instalação de 2013, ou seja, Eltek.

Na área de telhado A<sub>2</sub> optou-se por adotar um “pitch” de 2,3 metros e inclinação de 15° reduzindo as perdas por sombreamento mútuo entre as mesas para 1,9%. Assim, 5 mesas de 11 módulos FV (235 Wp) na posição vertical resultariam em 55 módulos FV e uma potência instalada total de 12,925 kWp. Os arranjos foram conectados a dois inversores (Eltek) de 4,4 kW e um inversor (Eltek) de 2,0 kW de potência nominal.

Finalmente, a área de telhado A<sub>3</sub> possui layout semelhante à área A<sub>1</sub> em termos de “pitch” e inclinação, mas com 10 mesas de 11 módulos FV (235 Wp) na posição vertical, resultando em 110 módulos FV e uma potência total de 25,85 kWp. Os arranjos foram conectados a cinco inversores (Eltek) de 4,4 kW de potência nominal.

Somando as três áreas de telhados e os diferentes arranjos, obtém-se uma potência total instalada de 59,69 kWp: o layout final pode ser observado na Fig. 5 e Fig. 6, bem como os efeitos de sombreamentos da edificação mais elevada, caixas d’água, claraboia e mesas entre si, as quais geram perdas elétricas por sombreamento durante o ano de 9,2%. A produção de energia anual estimada nestas circunstâncias foi de 90.496 kWh (1,51 kWh/ Wp/ ano).

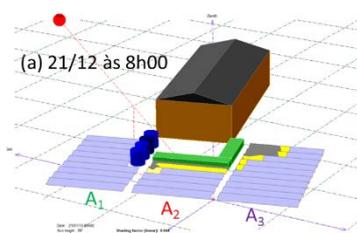


Figura 5 - Simulações utilizando o software PVsyst®: posição do sol, da sombra (cinza) e perdas elétricas

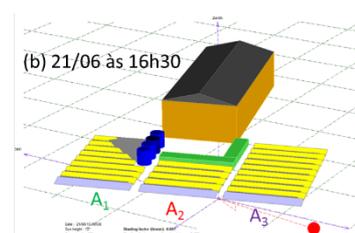


Figura 6 - Simulações utilizando o software PVsyst®: posição do sol, da sombra (cinza) e perdas elétricas

(amarelo) às 8h00 do dia 21 de dezembro.

(amarelo) às 16h30 do dia 21 de junho.

Em um segundo momento, visto o elevado custo da estrutura metálica (Fig. 2) e a limitação de espaço causada pelos “pitches” necessários devido à inclinação de 15°, optou-se por analisar a opção de integração direta às telhas de fibrocimento que possuem 5° de inclinação (10%) e orientações 107° Sudoeste ou 73° Nordeste, tornando-se possível a instalação de 292 módulos fotovoltaicos de 235Wp e resultando em uma UFV de 68,62 kWp (ver Fig. 7) com 15% a mais de potência instalada que o caso da Fig. 5 e Fig. 6. Realizando uma análise simplificada de energia através do PVSyst® é possível observar que existirão perdas da ordem de 3% a 4% em relação ao ótimo, devido à inclinação e desvios azimutais conforme mostra a Fig. 8, sem levar em consideração os efeitos de sombreamento próximo.

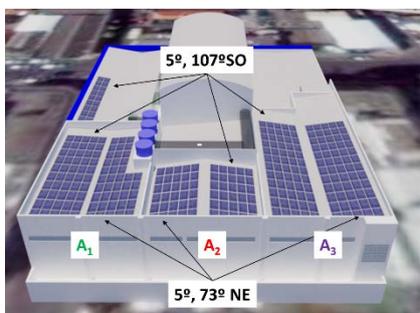


Figura 7 – Arranjos integrados diretamente ao telhado de fibrocimento: 68,62 kWp.

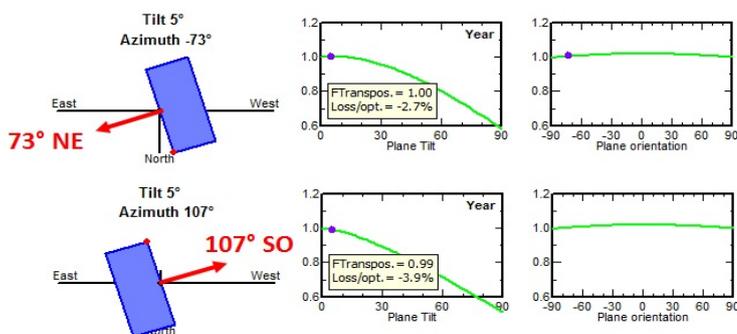


Figura 8 – Perdas em relação à inclinação ótima e orientação Norte: 3 a 4% sem sombreamento.

Foram também realizadas simulações detalhadas utilizando o software PVsyst®, considerando os efeitos de platibanda, caixas d’água e clarabóia, assim como foi realizado para o primeiro layout (Fig. 5 e Fig. 6 conforme o layout da Fig. 7. Assim como na primeira opção e devido à variedade de orientações e de fontes de sombreamento próximo, a melhor opção foi utilizar diferentes inversores, resultando em um total de 16 inversores com potências nominais entre 2,0 a 4,4 kW. As simulações estimaram uma produção específica de 1,402 kWh/Wp/ano, apenas 7,3% inferior ao estimado no primeiro layout, mas elevando à produção de energia anual para 96.442 kWh/ano, ou seja, 6,6% a mais de energia disponível ao ano, significando o suprimento de 97% da energia consumida registrada em 12 meses (2012-2013). Dando prioridade a maior simplicidade na montagem, redução de custo com estruturas metálicas e maior segurança devido às estruturas de sustentação dos telhados serem de madeira, além da estética, optou-se por adotar o segundo layout ilustrado na Fig. 7.

A Fig. 9 apresenta a UFV Miramontes, expandida, após instalação, assim como apresenta o mapa dos inversores e respectivos arranjos fotovoltaicos. À esquerda também é possível observar uma segunda UFV Residencial de potência instalada de 4,23 kWp em operação desde fevereiro de 2015, e exatamente com as mesmas características de desvio azimutal e inclinação da UFV Miramontes em sua primeira fase (Fig. 1 a Fig. 3) e mesmos fabricantes e modelos de equipamentos (módulos e inversores). A Tab. 2 apresenta todas as características das duas UFVs da Figura 9, utilizadas nas simulações.



Figura 9 – Vista aérea, com identificação dos inversores (Id.), da UFV Miramontes (68,62 kWp, à direita) e UFV Residencial (4,23 kWp, à esquerda).

Tabela 2 – Características técnicas, por inversor, da UFV Residencial e da UFV Miramontes.

Inversor (Id.)	Res.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$P_{ARRANJO}$ (kWp)	4,23	4,23	2,82	4,23	2,82	5,17	4,7	4,7	4,7	4,23	3,29	4,23	5,17	4,23	4,7	4,7	4,7
Módulos 235Wp	18	18	12	18	12	22	20	20	20	18	14	18	22	18	20	20	20
Módulos em série	9	9	12	9	12	11	10	10	10	9	14	9	11	9	10	10	10
Strings	9	9	6	9	6	11	10	10	10	9	7	9	11	9	10	10	10
$P_{INVERSOR}$ Eltek (W)	3,8	3,8	2,9	3,8	2,9	4,4	4,4	4,4	4,4	3,8	2,9	3,8	3,8	4,4	4,4	4,4	4,4
Relação $P_{FV}/P_{INV}$	1,11	1,11	0,97	1,11	0,97	1,18	1,07	1,07	1,07	1,11	1,13	1,11	1,36	0,96	1,07	1,07	1,07
Orientação	-17°	-107°	-107°	73°	73°	-107°	-107°	-107°	-107°	-107°	-107°	-107°	73°	73°	-107°	73°	73°
Sombras	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

### 3. RESULTADOS REAIS DE GERAÇÃO E COMPARAÇÃO COM SIMULAÇÕES

Como já descrito, a primeira instalação de micro geração fotovoltaica do Brasil enquadrada pela RN nº 482 (Aneel, 2014) também foi instalada em Uberlândia/MG e está em operação desde 2012 (Aneel, 2015). Este pequeno sistema FV com potência instalada de 6,58 kWp utiliza os mesmos módulos FV e modelos de inversores da UFV Miramontes, em suas duas etapas, e da UFV Residencial. A Fig. 10 apresenta as produções específicas mensais para cada ano em operação deste gerador denominado de UFV PGM Sistemas (Buiatti, 2013), onde é possível observar que em 2014 o sistema apresentou uma produção de energia anual superior a 4,2% em comparação ao ano precedente. Porém, considerando a produção específica acumulada entre os meses de maio a outubro para os anos de 2013, 2014 e 2015, entende-se que 2014, de fato, teve produção de energia superior em relação aos anos de 2013 e 2015. Assim, pode-se considerar a produção específica semestral acumulada entre maio e outubro como sendo em torno de 0,72 kWh/Wp/semestre, este período representando aproximadamente 51,5% da produção de energia anual da UFV PGM Sistemas.

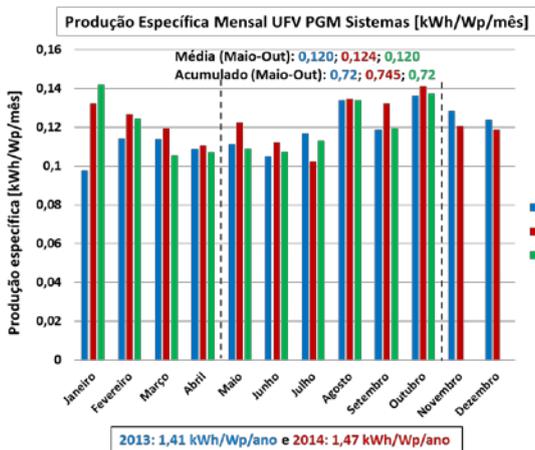


Figura 10 – Produções específicas da UFV PGM Sistemas entre os anos de 2013 a 2015.

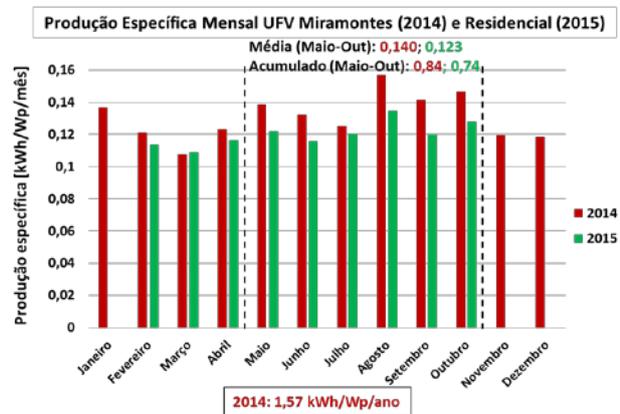


Figura 11 – Produções específicas da UFV Miramontes (2014) e da UFV Residencial (2015).

Já a Fig. 11 realiza a mesma análise da Figura 10, porém considerando o primeiro ano de monitoração da UFV Miramontes de 3,29 kWp em 2014 (Fig. 4 e Tab. 1) e nove meses de monitoração da UFV Residencial (4,23 kWp) em 2015 (Fig. 9 e Tab. 2). Como estes dois sistemas possuem uma distância entre si de apenas 63 metros em linha reta, possuem praticamente as mesmas condições de sombreamento próximo e possuem as mesmas características técnicas e de instalação, pode-se considerar, com algumas restrições tais como perdas de produção de energia dos módulos FV após o primeiro ano de instalação (Labouret, 2009), que estes seriam os resultados de produção específica de 2014 e 2015 para a UFV Miramontes considerando o arranjo de sua primeira fase (3,29 kWp).

A Fig. 12 mostra os seis meses iniciais de operação da UFV Miramontes com 68,62 kWp (de maio a outubro/2015), onde é possível perceber que a mesma gerou 21,7% a menos de energia em relação ao desempenho do sistema prévio de 3,29 kWp no mesmo período. Para os meses de maio a julho, a perda de produção registrada foi de 30%, enquanto em agosto e setembro a perda foi de 23% e 18% respectivamente. Já no mês de outubro, as perdas foram bastante reduzidas e um pequeno ganho de 1% foi registrado. Uma primeira hipótese para a variação da produção de

energia apresentada seria a sazonalidade da irradiação no período, já que dados do INPE apontam para 98,7 kWh/m<sup>2</sup>-dia em junho e 204,9 kWh/m<sup>2</sup>-dia em outubro no plano horizontal, ou seja, mais que o dobro de irradiação em outubro. Porém, analisando a Fig. 10 e a Fig. 11, fica evidente que não existe tamanha variação na produção de energia elétrica, até porque em junho a temperatura ambiente é mais baixa que em outubro e as perdas por irradiação são parcialmente compensadas em módulos de silício policristalino (Labouret, 2009).

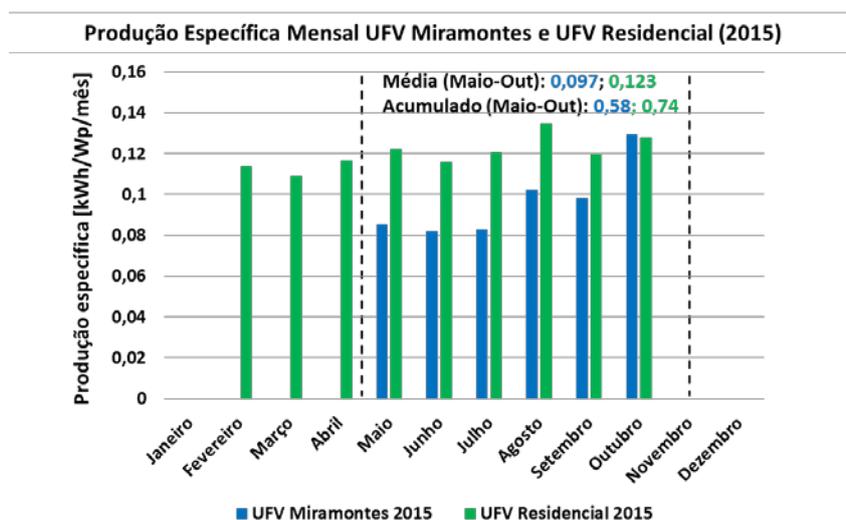


Figura 12 – Produções específicas mensais em 2015 (kWh/Wp/mês).

Considerando a divergência encontrada entre os resultados reais e aqueles encontrados através da simulação, apresentados anteriormente, uma análise para cada um dos arranjos conectados aos 16 inversores da UFV Miramontes foi realizada e alguns dos resultados são apresentados na Fig. 13.

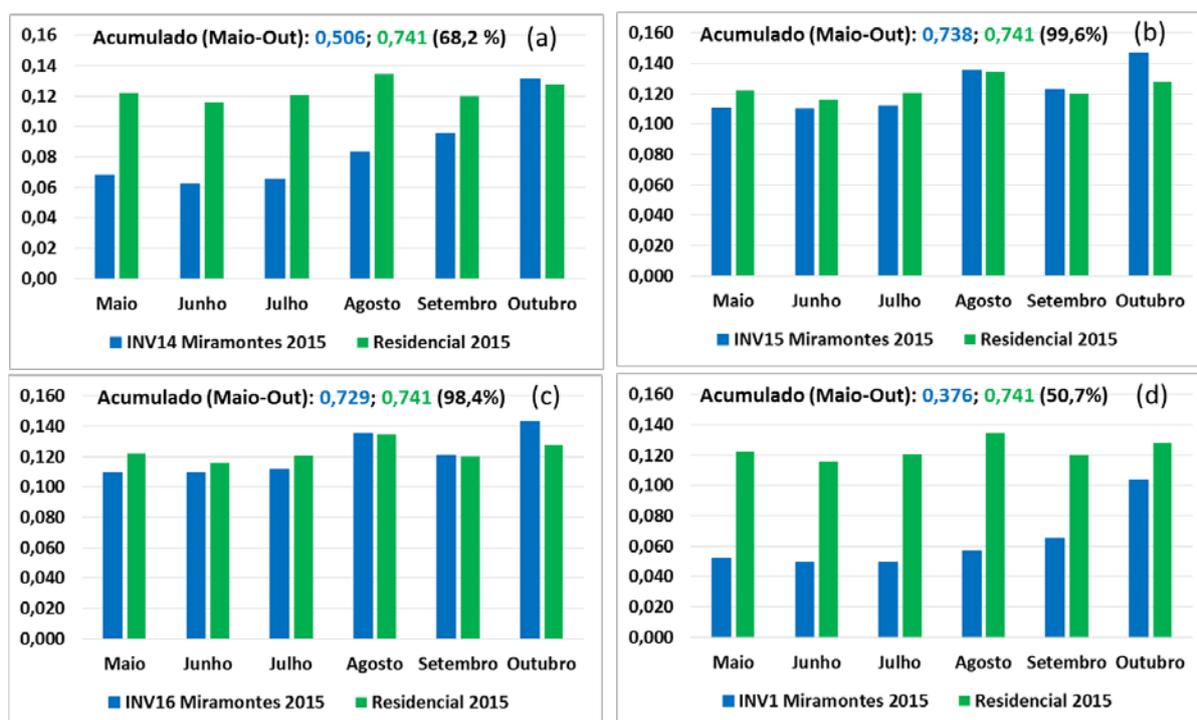


Figura 13 – Produções específicas mensais em 2015 da UFV Miramontes e da UFV Residencial: (a) inversor 14, (b) inversor 15, (c) inversor 16 e (d) inversor 1.

Analisando a Fig. 9 e a Fig. 13 é possível verificar que os inversores 15 e 16 da UFV Miramontes, apesar de integrados a um subsistema com inclinação e orientação muito diferentes da UFV Residencial, produziram praticamente a mesma quantidade de energia entre maio e outubro de 2015. No caso da baixa inclinação do telhado da UFV Miramontes (entre 5° e 10°) fica bem claro o comportamento do aumento da produção de energia relacionado à sazonalidade inverno-verão devido ao percurso do sol e ao aumento das horas de sol pleno. Já os inversores 1 e 14

apresentaram produção específica 49,3% e 31,8%, respectivamente, inferior à UFV Residencial. A Tab. 3 quando relacionada com a Figura 9 deixa bem evidente a baixa produção específica dos arranjos situados ao lado da platibanda orientada ao noroeste, se tornando evidente os efeitos de sombreamento próximo entre os diferentes arranjos na produção monitorada através dos inversores da UFV Miramontes.

Tabela 3 –Produtividades específicas mensais (kWh/Wp/mês) e semestral acumulada (kWh/Wp/semestre) em 2015.

Inversor (Id.)	Resid.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Maio /15	0,122	0,052	0,086	0,069	0,064	0,093	0,095	0,101	0,064	0,092	0,095	0,069	0,084	0,101	0,068	0,110	0,109
Junho/15	0,116	0,049	0,081	0,062	0,063	0,089	0,091	0,097	0,058	0,086	0,092	0,063	0,086	0,100	0,062	0,110	0,109
Julho/15	0,120	0,050	0,059	0,066	0,063	0,091	0,094	0,099	0,060	0,089	0,094	0,064	0,087	0,102	0,065	0,112	0,111
Agosto/15	0,135	0,057	0,081	0,083	0,081	0,114	0,118	0,122	0,073	0,114	0,117	0,082	0,103	0,124	0,083	0,135	0,135
Setembro/15	0,120	0,065	0,000	0,095	0,077	0,110	0,113	0,116	0,087	0,113	0,110	0,094	0,089	0,119	0,096	0,123	0,121
Outubro/15	0,128	0,104	0,103	0,128	0,094	0,140	0,135	0,141	0,124	0,140	0,136	0,122	0,103	0,159	0,131	0,147	0,143
Acumulado	0,741	0,376	0,411	0,504	0,441	0,636	0,646	0,676	0,467	0,634	0,644	0,493	0,551	0,705	0,506	0,738	0,729

Como a simulação de todo o sistema apresentou anteriormente uma produção específica anual da ordem de 1,4 kWh/Wp/ano, novas simulações foram realizadas para todos os 16 arranjos da UFV Miramontes de forma individual. Para intensificar o efeito do sombreamento causado pela platibanda e criar uma situação de “pior caso”, a altura da mesma foi aumentada de 10 centímetros após a reprodução do projeto “as built” da UFV no Pvsyst, A Fig. 14 ilustra algumas das simulações para três dos arranjos, em diferentes horários e dias do ano, indicando sombras (cor cinza) e seus efeitos elétricos quando as mesmas aparecem (cor amarela).

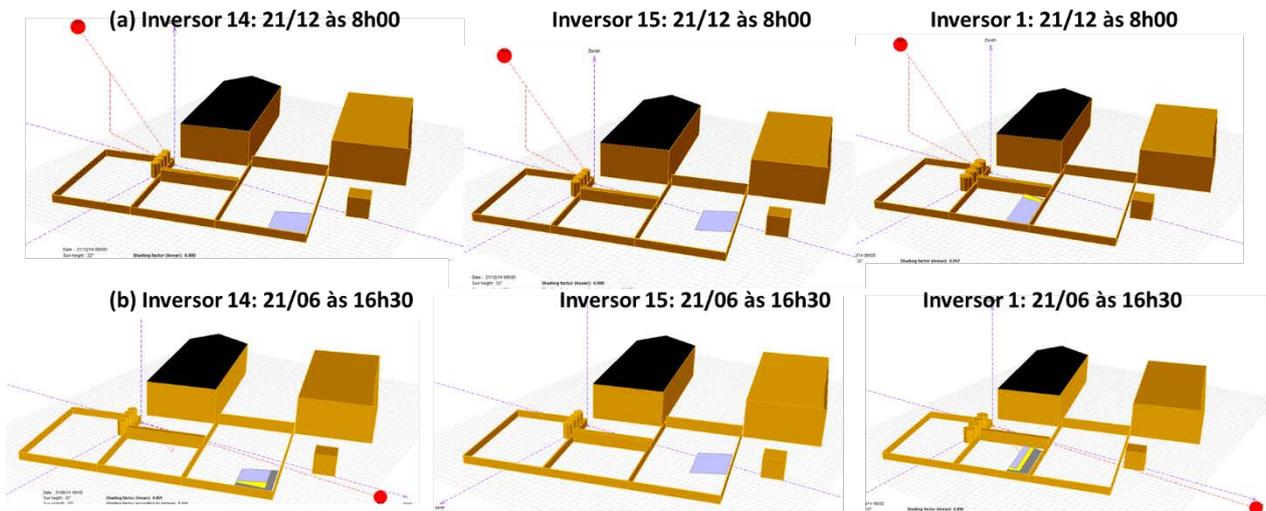


Figura 14 – Simulações no Pvsyst dos arranjos/inversores 14, 15 e 1 em: (a) 21 de dezembro às 8h00 e (b) 21 de junho às 16h30.

Levando em consideração os valores apresentados na Fig. 10, onde 51,5% da produção de energia ocorre entre os meses de maio a outubro, é possível realizar uma aproximação para se obter a produção específica real dos diferentes arranjos da UFV Miramontes em um ano completo. Estas produções reais foram comparadas com as das simulações individuais dos arranjos, como ilustrado na Fig. 14, e é possível concluir, conforme mostra a Tab. 4, que os erros de previsão do software Pvsyst neste caso, para condições de sombreamento muito próximo como apresentado nos arranjos 1, 2 e 5 que estão praticamente encostados na platibanda, são da ordem de 10% a 40%. Em casos de sombreamentos menos intenso, ou mesmo ausência do mesmo, erros aceitáveis na ordem de 1% a 3% são verificados. Diferentes formas de conexão elétrica das strings, utilizando a função “Module Layout” do Pvsyst, foram aplicadas e verificadas as piores condições, não tendo sido encontradas variações maiores que 4,5%. Assim sendo, constata-se que o software de simulação possui sérias limitações no que tange a previsibilidade de produção específica dos arranjos fotovoltaicos em condições de sombreamento.

Tabela 4 – Comparação entre produções específicas reais e simuladas (kWh/Wp/ano).

	INV 1	INV 2	INV 5	INV 14	INV 15	INV 16
Real anual	0,730	0,797	1,235	0,983	1,432	1,416
Simulado anual	1,215	1,39	1,391	1,431	1,451	1,45
Erro (%)	39,9%	42,6%	11,2%	31,3%	1,3%	2,4%

Para validar definitivamente os efeitos causados pelo sombreamento da platibanda, sobretudo entre maio a setembro, os módulos FV mais próximos da platibanda serão retirados e relocados e o cabeamento das strings será refeito. Onde não exista espaço físico para relocação dos módulos, os arranjos FV mais próximos às platibandas e com mesma orientação serão agrupados em inversores comuns. Dessa forma novas medições serão realizadas, assim como serão utilizadas medidas reais de estações solarimétricas como dados de entrada de novas simulações nos trabalhos futuros.

#### 4. CONCLUSÃO

O presente trabalho realizou uma análise detalhada de comparação do desempenho entre algumas UFVs de micro geração, principalmente a do micro gerador denominado Miramontes que foi completamente alterado devido à sua expansão. A partir desta análise verificou-se que o software PVSyst apresentou para este caso limitações severas em relação à previsibilidade da produção específica de sistemas muito próximos a fontes de sombreamento próximo. Resultados reais de sistemas fotovoltaicos em operação, como já destacados por Axaopoulo et al. (2014) e Müller et al. (2014), são fundamentais e devem ser estudados e analisados para se ter maior conhecimento e segurança, no quesito produção real de energia elétrica, sobretudo em contratos de desempenho onde este fator é relevante e importante para o investidor.

#### Agradecimentos

Trabalho desenvolvido no âmbito do Programa de Eficiência Energética (PEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

#### REFERÊNCIAS

- Aneel, 2014. Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. Brasília: ANEEL, Cadernos Temáticos ANEEL. 28 p.
- Aneel, 2015. Banco de Informações de Geração (BIG). Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>
- Axaopoulo, P.J., Emmanouil, D. F., Konstantinos, G., 2014. Accuracy analysis of software for the estimation and planning of photovoltaic installations. International Journal of Energy and Environmental Engineering. Springer, pp.1-7.
- Buiatti, G. M., 2013. Inovações no marketing para pequenas empresas – Selo Solar para PGM Sistemas. In: Renex South America – Feira Internacional de Energias Renováveis.
- Global Market Outlook for Solar Power 2105-2019, 2015. Solar Power Europe report.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2015. Brasília/DF, 2008-2010. Disponível em <http://www.inpe.br/>.
- Isis Portolan dos Santos. Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura, 2013. Tese (Doutorado em Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- Labouret, A., Viloz, M., 2009. Énergie Solaire Photovoltaïque. 4. ed. França: Dunod. 355 p
- Castro, M. A., L., 2015. Audiência Pública 26/2015 Revisão das regras para micro e minigeração distribuída. Disponível em < <http://tinyurl.com/od9uy2a> >. Acesso em: 10 nov. 2015.
- PVSyst S.A., 2015. User's Guide: PVSyst 6 Help. Disponível em: <http://files.pvsyst.com/help/index.html>
- Müller, B; Hardt, L.; Armbruster, A.; Kiefer, K. Reise, C., 2014. Yield Predictions For Photovoltaic Power Plants: Empirical Validation, Recent Advances And Remaining Uncertainties. In: 29<sup>th</sup> European PV Solar Energy Conference and Exhibition - EU PVSEC, Amsterdam, Netherlands. pp. 2499 – 2505.
- Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), 2015. Disponível em <http://en.openei.org/apps/SWERA/>.

#### MIRAMONTES MICRO PHOTOVOLTAIC COMMERCIAL PLANT: EXPANSION, MODIFICATIONS AND PERFORMANCE ANALYSIS

**Abstract.** *The micro photovoltaic plant Miramontes (PV plant Miramontes), located in Uberlândia city, Minas Gerais state, started operation in June 2013 with an installed power capacity of 3.29 kWp. In order to increase the share of photovoltaic generation concerning the total energy consumed in the commercial building respecting the available rooftop space and the maximum allowed power to be injected into the grid, the PV plant was expanded to 68.62 kWp in April 2015. This paper presents the results of simulations carried out by PVSyst© software version 6.25 and they are compared with actual generation data. Performance results of specific production before and after expansion, and the technical aspects related to the different PV arrays of the whole PV plant along with the layout defining process for the expansion, are also discussed.*

**Keywords:** *Distributed Photovoltaic Generation, Simulation, Expansion, Performance.*