

ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS REAIS E SIMULADOS DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA

Thays Cristina França de Souza – thayscf.souza@gmail.com
Fabício Bonfim Rodrigues de Oliveira – fabricio.oliveira@unialfa.com.br
Centro Universitário Alves Faria, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumo. Este artigo tem por finalidade obter e analisar dados reais de geração de energia da Micro Usina fotovoltaica da Escola de Engenharia Elétrica, mecânica e de computação (EMC) da Universidade Federal de Goiás (UFG), na cidade de Goiânia, que entrou em operação em outubro de 2016. A potência instalada no telhado do prédio da universidade no Bloco B é de 34kWp. Propõe-se obter a diferença em percentual através dos resultados da simulação e comparados com dados reais de geração, e por meio dessa diferença realizar as análises de perdas no sistema. Os resultados das simulações e o projeto do sistema serão apresentados no software PVsyst 6.6.4, onde serão expostas as perdas envolvidas e as possíveis causas do erro no sistema. Espera-se compreender como o sistema reage frente a alterações meteorológicas diretas e indiretas no local, o potencial de cada região e a eficiência na simulação, tendo como base os impactos causados pelas perdas por um determinado período de tempo.

Palavras-chave: Micro Geração Distribuída Fotovoltaica; Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica; Análise Comparativa; Simulação

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, a principal fonte de energia vem das UHE's (Usinas Hidrelétricas), que produzem cerca de 66% de energia consumida registrada na matriz energética brasileira, em operação registrado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2017. Ela é considerada uma fonte de energia renovável, que não produz gases poluentes a atmosfera. Apesar de suas grandes vantagens em relação ao meio ambiente, esse tipo de fonte leva consigo algumas grandes desvantagens futuramente, pois as mesmas dependem das chuvas e necessitam de amplas áreas para sua construção.

Devido a isso, o Brasil vem investindo em novas fontes de energias renováveis, como a solar fotovoltaica. A energia solar fotovoltaica traz consigo grandes vantagens, como: não emitir gases poluentes a atmosfera, reduzir o custo de energia para o consumidor, além de aliviar as linhas de transmissão e distribuição. Sendo também considerada uma fonte de energia limpa e sem previsão para esgotamento.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica vêm aumentando no Brasil, e contam com o incentivo da publicação da Resolução Normativa nº 482/2012, da ANEEL, que possibilita a geração de energia por fontes renováveis, possibilitando cidadãos brasileiros de terem sua própria geração de energia por meios de micro e mini geração distribuída de energia elétrica, seja em suas residências ou em comércios, para consumo próprio ou para exportação de energia.

De acordo com o Boletim Mensal de Energia (2017), a utilização de fontes renováveis de energia tem ganhado destaque em muitos países, principalmente no Brasil, onde se tem uma participação de 43,8% na matriz energética. Já na oferta interna de energia elétrica o crescimento das fontes de energia renováveis tem uma previsão para chegar a 83,3%, sendo que no mundo esse valor cai para 24,1%.

Hoje, o Brasil possui em fontes renováveis 4.736 empreendimentos em operação, sendo o total de potência instalada 152.395.954 kW, sendo uma previsão de mais 23.412.219 kW na capacidade de instalação, além de 251 que estão em construção. A ANEEL registra mais de 10 mil conexões de GD (Geração Distribuída) instalada no país, sendo a fonte de energia fotovoltaica a que mais destaca com uma potência de 80,7 MW, correspondendo a 70% dessa potência instalada.

Dentre essa potência por GD pode-se destacar Minas Gerais com 2.263 número de conexões, e em seguida São Paulo, com 2.116 conexões. Goiás conta com 176 conexões registrados em 2017, como mostra a Fig. 1. O uso dessas fontes não é só vantajoso para o consumidor que terá sua fatura mensal de energia reduzida, mas também colaborando com o meio ambiente e reduzindo perdas e custos nas linhas de transmissão. (ANEEL, 2017).

A Fig. 1 e a Fig. 2 apresentam a potência instalada por fonte e número de conexões por estados.

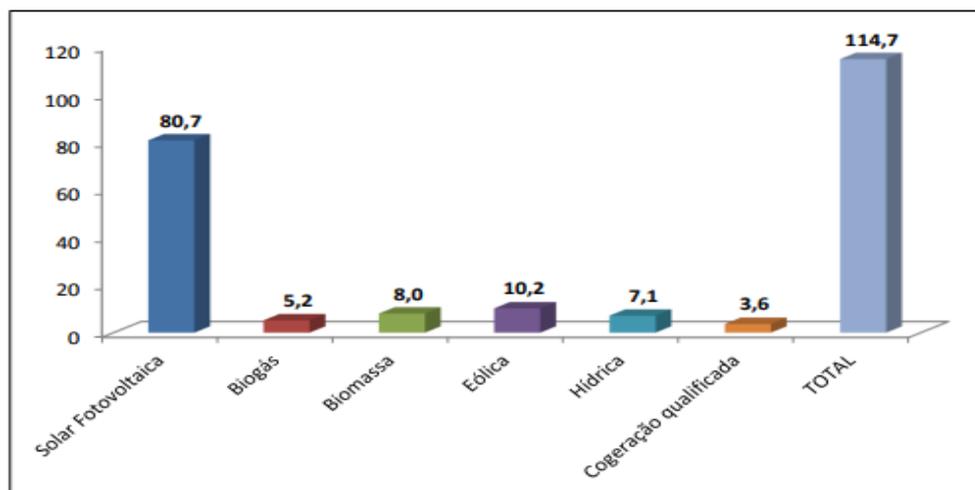


Figura 1 – Potência instalada (MW) de GD por fonte até 23/05/2017.

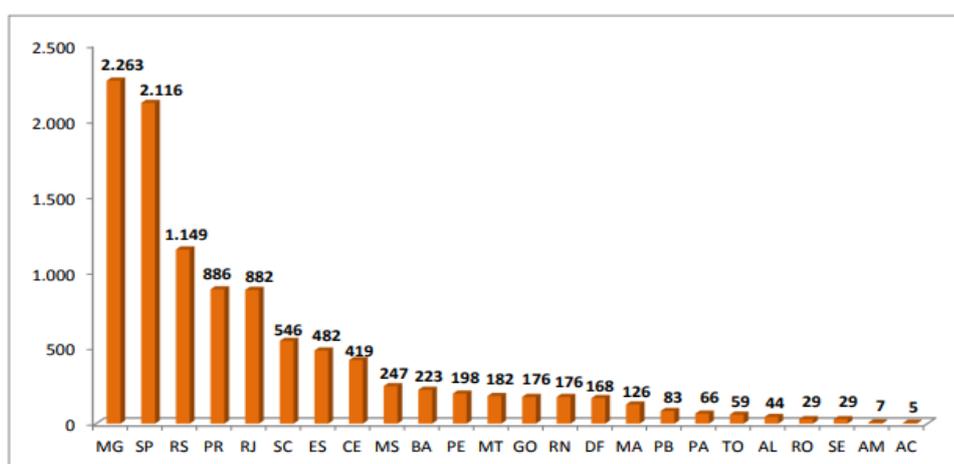


Figura 2 – Registro de número de conexões de GD por estados até 23/05/2017.

O Brasil é um país em que 93% da sua área no globo terrestre é localizado no hemisfério Sul, estando a maior parte do território brasileiro, exceto a região sul, na zona intertropical do planeta, distinguindo-se vários tipos de climas (Scheneberger e Farago, 2013). No Estado de Goiás o clima é classificado como tropical, por ser considerado uma região de alta luminosidade do sol, contribuindo com a geração de eletricidade por sistemas fotovoltaicos.

Neste contexto, dentre as várias usinas de micro geração que fazem parte dos dados extraídos pela ANEEL, a usina da Universidade Federal de Goiás será analisada utilizando dados mensais do seu desempenho real de geração e dados de simulação. Será realizado a simulação por meio do software PVSyst, onde se configuram as variáveis, como modelo dos inversores, fabricantes dos módulos, ângulos de inclinação dos módulos, ângulo azimutal, irradiação, entre outros. Com isso, realizou-se a análise detalhada considerando as peculiaridades que intervêm no desempenho de um sistema fotovoltaico.

2. ESTRUTURA DO SFCR DA EMC-UFG.

A Micro Geração distribuída Fotovoltaica da EMC-UFG entrou em operação em outubro de 2016, e foi instalada para suprir a demanda do prédio do Bloco B com uma potência de 34kWp. A Fig. 3 apresenta a vista projetada pelo software PVSyst e a Fig. 4 apresenta a foto real do SFV instalada no telhado do bloco B. O prédio conta com um desvio azimutal em relação ao norte geográfico de 15°, e com um ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos de 10°. O telhado é constituído de 2 orientações, sendo a primeira com um ângulo azimutal de 15° e a segunda com um ângulo azimutal de -165°, sobre uma área 237m².

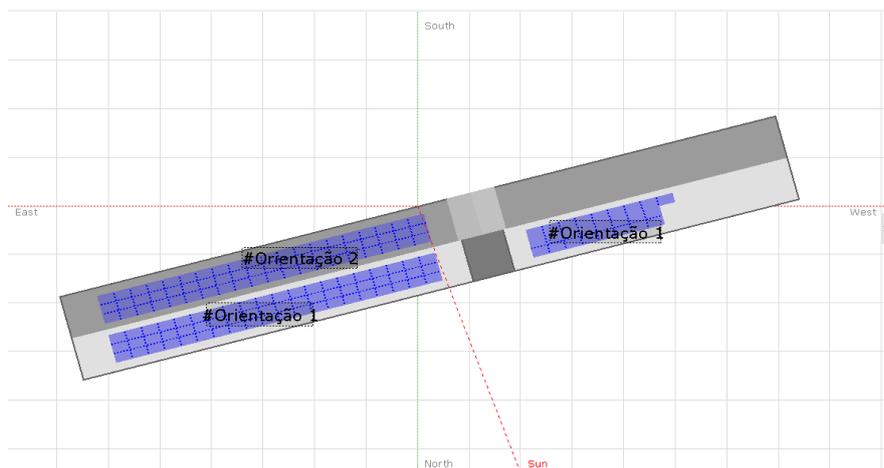


Figura 3 – Projeto do prédio do bloco B, com suas orientações da EMC-UFG pelo *software* PVsyst 6.6.4



Figura 4 – Vista real do telhado do Bloco B com suas orientações.

O sistema é constituído de 145 módulos de p-Si (Silício Policristalino) do modelo Sun Earth de 235Wp, contendo 8 inversores da Eltek Valere-Theia HE-t, sendo dividido com dois de potência nominal de 2,9kW e 6 de 4,4kW. A Tab. 1 apresentam detalhadamente a estrutura do sistema da UFG.

Tabela 1 – Estrutura do SFV da EMC-UFG.

Arranjos	Qtd. Inv.	Inversor [kWp]	Orientação Mód.	String/Inv.	Qtd. Mód.	área [m ²]	Pot. [kWp]
1	1	2,9	#1: 15°	1	13	21	3,1
2	1	2,9	#1: 15°	1	12	20	2,8
3	3	4,4	#1: 15°	6	60	98	14,05
4	3	4,4	#2: -165°	6	60	98	14,05
Total	8	14,6		14	145	237	34

3. ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS REAIS E SIMULADOS DO SFCR DA EMC-UFG EM GOIÂNIA.

Os meses de geração real do SFCR da EMC-UFG foram analisados e comparados com os dados simulados pelo software PVsyst 6.6.4, e por meio desse expor o erro comparativo, observando se é um erro significativo e o que pode ter levado a essa diferença. A base de dados meteorológicas utilizada nessa simulação é a da própria central instalada na UFG, conforme representa a Fig. 5, e o sistema foi simulado considerando todas as suas possíveis perdas especificadas, como: Perda devido a orientação dos módulos; Perdas por sombreamentos próximos; Perdas térmicas; Perdas ôhmicas nos cabos; Perda de Qualidade do módulo; Perdas por sujeiras; Perdas pela base de dados meteorológicos, entre outras.



Figura 5 – Central Meteorológica da EMC-UFG.

Para a análise de sombreamento as considerações foram pequenas, já que para o SFV da UFG não tem grandes obstáculos em torno da edificação, é considerado apenas a perda de sombreamento que as platibandas geram sobre os módulos. Sendo assim, o programa considerou uma perda de irradiação de 2% no sistema devido aos sombreamentos próximos.

Além das citadas também foram consideradas as perdas devido à orientação dos módulos fotovoltaicos, como o SFV da EMC-UFG tem 2 orientações de módulos, sendo uma com desvio azimutal de 15° em relação Norte e outra com um desvio azimutal de -165° em relação ao Sul. Na orientação ao sul obteve-se uma perda anual maior por módulo em comparação com a orientação para o norte, onde o nível de irradiação que incide sobre as células é maior. A Fig. 6 e a Fig. 7 irá representar essas perdas anuais nos módulos conforme suas orientações.

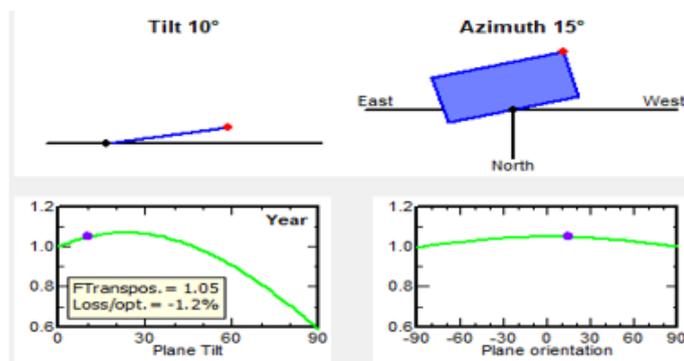


Figura 6 – Perdas sem sombreamento em relação a inclinação do módulo com orientação de 15° .

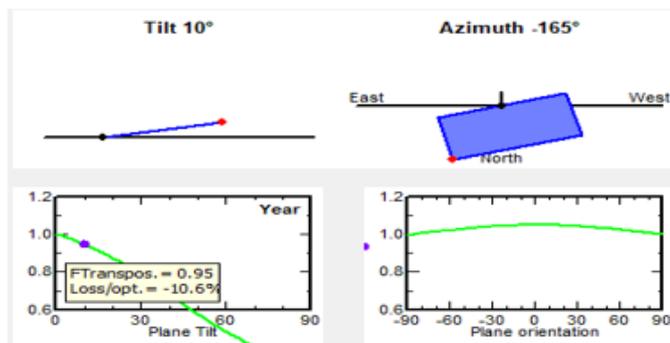


Figura 7 – Perdas sem sombreamento em relação a inclinação do módulo com orientação de -165° .

Pode-se notar uma perda sem sombreamento menor para o módulo com inclinação para o norte, de apenas 1,2% no sistema, enquanto que para orientação para o sul tem-se uma perda de 10,6% anual. Sendo, no verão essa perda em relação ao sul sendo nula e em relação ao norte de 1,1%, e para inverno a perda na orientação para o sul um valor bem significativo de 30% enquanto para o Norte de 12,4%.

A Tab. 2 irá apresentar a geração real mensal e a produtividade específica anual para o SFV da EMC-UFG, considerando tais perdas, onde é analisado no intervalo de tempo entre outubro de 2016 a setembro de 2017.

Tabela 2 – Produção Mensal de energia real para o SFV da UFG.

Mensal	GlobHor [kWh/m ²]	Tamb °C	GlobInc [kWh/m ²]	E_Real [kWh]	TD (%)
out/16	139,2	25	137,4	4.027	72,4
nov/16	136,6	24,4	135,2	3.239	71,9
dez/16	138,3	24,9	137,7	4.031	72,1
jan/17	145,5	25	146,2	3.895	71,2
fev/17	147,9	24	149,8	3.303	72,7
mar/17	146,1	22,5	148,8	3.627	72,8
abr/17	151,3	20,5	153,8	3.361	72,2
mai/17	158,1	25,3	159,8	3.364	73,2
jun/17	166,5	25,6	166,8	2.983	73,6
jul/17	144,8	26	144	3.434	74,6
ago/17	130,8	24,2	129,2	3.508	71,6
set/17	137,3	24,8	135,3	3.604	71,6
kWh/kWp/Ano:..				1.246	

Tabela 3 – Análise comparativa entre uma produção de energia real e simulada do SFV da UFG.

Anual	GlobHor [kWh/m ²]	Tamb °C	GlobInc [kWh/m ²]	E_Real [kWh]	E_Simulada [kWh]	TD (%)	Erro(%)
2016-2017	4,84	24,35	4,85	43.375	43.088	72,5	1,65
kWh/kWp/Ano:..				1.246	1.267		

Onde:

Ins_GlobHr – Insolação média diária por ano incidida no plano horizontal

TD - Taxa de Desempenho do sistema.

Erro – Erro percentual comparado entre a produção real e a simulada.

Conforme os resultados apresentados na Tab. 3 pode-se observar um erro anual de 1,65% obtidos da análise entre a produção de energia real e a simulada. Também é observado na Tab. 2 que no mês de dezembro/16 foi onde se teve uma geração real maior, sendo este mês definido pela primavera, estação caracterizada pelo início das chuvas e de altas temperaturas, podendo atingir valores muito elevados com fortes índices de radiação solar no local, além de se ter baixas umidade de ar e baixas velocidades do vento, tendo em consequência um resultado maior de geração.

Foi exposto um pequeno erro anual nesta análise comparativa, mostrando uma grande eficiência do software para simulações de produtividade. Essa pequena diferença pode se dar pelo fato que o programa não consegue estimar nebulosidade, chuvas e sujeiras com grande precisão, apesar dele padronizar uma perda por sujidade de 3%.

4. ANÁLISE COMPARATIVA DE PERDAS PARA SIMULAÇÃO DE PRODUÇÃO MENSAL CONSIDERANDO DIFERENTES BASES DE DADOS METEOROLÓGICOS EM GOIÂNIA.

Será realizada uma análise de perdas na produção mensal de energia simulada pelo software PVsyst 6.6.4, levando-se em conta diferentes bases de dados meteorológicas estimados para Goiânia. O objetivo é expor a diferença na simulação utilizando 3 diferentes bases de dados, verificando sua precisão na simulação de acordo com cada uma.

A Fig. 8 apresenta um comparativo mensal de insolação global horizontal para Goiânia utilizando-se 3 bases de dados meteorológicos.

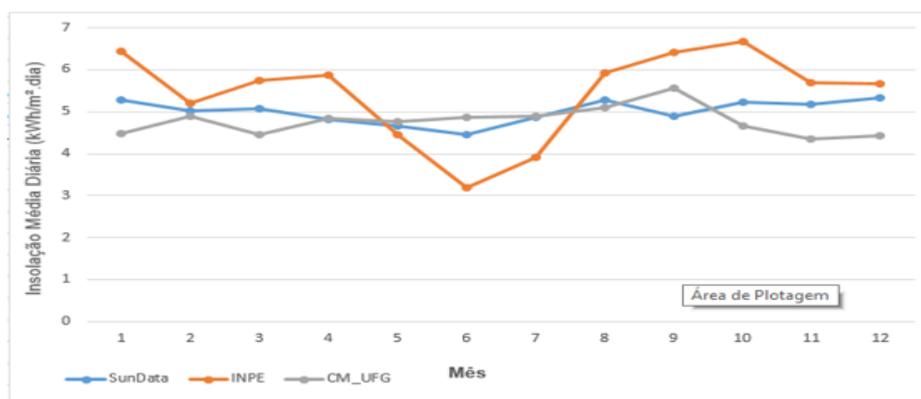


Figura 8 – Comparativo Mensal de insolação média diária por diferentes bases de dados meteorológicos em Goiânia.

Observa-se uma grande variação de insolação média diária para diferentes bases de dados. Ocorre que as bases de dados tem diferentes períodos de observações e por isto a comparação fica prejudicada. Os valores obtidos para termos anuais foram: 5kWh/m² pela SunData – CRESESB (Centro de referência para energia solar e eólica), 5,43kWh/m².dia pelo SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) que possui o banco de dados do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e 4,78kWh/m².dia pela Central meteorológica instalada diretamente na EMC-UFG. Também é observado que pelo SunData o melhor mês de insolação é no mês de agosto e o pior no mês de junho, pelo INPE o melhor mês foi o de outubro e o pior de junho e pela Central da UFG o melhor foi em setembro e o pior em novembro. Os melhores meses de insolação por meio das bases de dados foram os meses de verão, onde o nível de insolação é maior, exceto pela base do Inpe, onde o melhor mês foi o de outubro.

Na Tab. 4 é apresentada a geração mensal de energia real e simulada, usando-se diferentes bases de dados citados na Fig. 8.

Tabela 4 – Produção anual de energia real e simulada para diferentes bases de dados em Goiânia.

Base_Dados	Ins_GlobHor [kWh/m ² /ano]	Produção Anual [kWh]		Produção Específica [kWh/kWp/Ano]		TD (%)	Erro (%)
		Real	Simulada	Real	Simulada		
CM_UFG	4,78	42.375,40	43.088	1.246,34	1.267,29	72,51	1,65
Inpe	5,43		48.630		1.430,29	72,03	12,86
SunData	5		45.669		1.343,21	73,27	7,21

De acordo com os resultados obtidos observou-se que são mais coerentes para a simulação os dados obtidos da central meteorológica instalada na EMC-UFG, onde se nota uma diferença 1,65% (conforme já comentado no tópico anterior) e uma simulação bem próxima com a realidade. Já os dados meteorológicos coletados do Inpe e do SunData apresentaram diferenças de 12,86% e 7,21%, respectivamente, sendo que a maior diferença para a simulação foi obtida utilizando dados coletados do Inpe. Essa diferença entre o Inpe e o SunData considerada grande pode ter sido dado pelo fato que os dados de irradiação são coletados em diferentes intervalos e por diferentes metodologias. Considerando também os melhores e os piores meses de insolação conforme as diferentes origens dos dados, as perdas por sombreamento ficam também prejudicadas na comparação já que para uma base de dados onde o índice de insolação é maior em um determinado mês, as perdas por sombreamento ficam menos significativas, afetando assim a comparação da simulação com os dados reais.

5. ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR SFCR PARA ALGUMAS REGIÕES NO BRASIL.

Os SFCR's podem ter uma eficiência melhor de produção de energia dependendo da sua região empregada, onde os níveis de irradiação variam de acordo com cada localidade. Nestas circunstâncias aqui será mostrado uma análise usando-se base de dados meteorológicos de diferentes regiões no Brasil, comparando com a eficiência na simulação de produção de energia pelo software PVsyst 6.6.4, utilizando-se base de dados de Goiânia comparado com base de dados de diferentes regiões no Brasil, verificando a eficiência em se instalar um SFV em Goiás. Aqui, será explorado para duas regiões: Sul e Nordeste, onde uma tem nível de irradiação menor e a outra maior, observando sua variação na simulação comparado com a energia real gerada. A Fig. 9 apresenta os valores de insolação diária média para cada região.

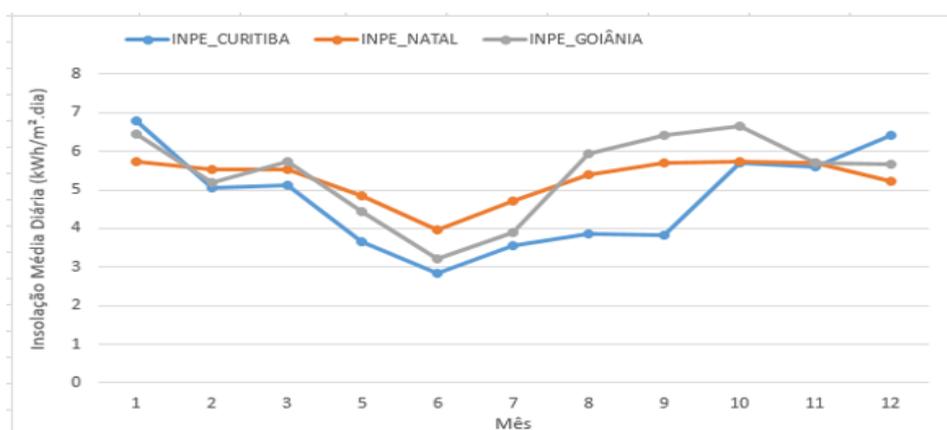


Figura 9 – Comparação mensal de Insolação Média Diária para algumas regiões no Brasil.

Nota-se de acordo um alto rendimento para produção de energia por SFV's na região de Goiânia, Goiás. A região de Goiás apresenta um alto índice de irradiação diária média em relação a outras regiões, como norte e sul. No Sul ela apresenta um percentual de 12% a mais de eficiência e no Nordeste apresenta 2,4% a mais de eficiência. Também é observado que no mês de junho Goiânia cai em índice de irradiação em comparação com natal, onde se tem um valor de 4kWh/m².dia enquanto Goiânia se tem 3,2kWh/m².dia, mas que também nos meses de agosto, setembro e outubro se dá um avanço bem significativo para região de Goiânia, podendo alcançar quase 7kWh/m² segundo os dados do Inpe. Em Curitiba se nota uma baixa irradiação quase 100% em relação as outras regiões, exceto no início de janeiro e novembro.

Na Tab. 5 são observados os valores médio de cada variável e o rendimento que o SFCR da UFG produziria se fosse instalado em cada região, segundo a simulação pelo software PVsyst 6.6.4, onde é considerado os dados meteorológicos no plano horizontal e inclinado de cada região.

Tabela 5 – Dados de Energia simulada no PVsyst 6 do SFV da UFG para algumas regiões no Brasil.

Região/Estado	GlobHor [kWh/m².dia]	M_Tamb °C	GlobInc [kWh/m².dia]	E_Simulada [kWh/ano]	TD (%)	(%)
Sul_Curitiba	4,78	19,23	4,85	43.989	73,91	9,54
Nordeste_Natal	5,30	26,1	5,35	47.362	72,19	2,61
Centro-Oeste_Goiânia	5,43	24,2	5,5	48.630	72,03	100,00

É notável uma simulação maior para Goiânia em relação ao sul e ao nordeste, onde se teve uma geração anual de 48.630kWh/ano, enquanto que em Curitiba e Natal se teve 43.989kWh/ano e 47.362kWh/ano, assim respectivamente. Com isso, realizando uma comparação observa-se que na região centro-oeste se tem uma eficiência a mais de 9,54% em relação a Curitiba e 2,61% em relação a Natal. Concluindo que em Goiânia é uma cidade muito eficiente para instalação desses sistemas, obtendo-se uma boa produtividade em geração de energia.

6. CONCLUSÃO

O Presente trabalho realizou análises comparativas de produção de energia entre dados reais, obtidos da EMC-UFG e dados simulados por meio do software PVsyst 6.6.4. Além de realizar análises para diferentes bases de dados meteorológicos em Goiânia, visando em todos os casos suas perdas e o que as podem ter provocado. De acordo com os resultados das análises obtidos, conclui-se que centrais meteorológicas instaladas no local do SFV são importantes para se obter uma simulação mais precisa, onde o *software* demonstrou um bom desempenho na simulação por meio do erro encontrado da análise comparativa utilizando a base de dados da própria central meteorológica instalada na EMC-UFG. Além disto percebeu-se que as simulações realizadas utilizando dados de satélites no Brasil apresentam importantes diferenças comparadas com a da própria central meteorológica instalada no local, devidas principalmente às diferentes bases de tempo.

A partir das análises de desempenho da simulação utilizando base de dados meteorológicos de diferentes regiões no Brasil para o SFV da EMC-UFG, conclui-se que Goiânia possui um melhor potencial de geração do que em Curitiba localizada no Sul e Natal, localizada no Nordeste do Brasil, indicando uma boa eficiência na região Centro-Oeste para produção de energia por SFV.

Agradecimentos

Trabalho desenvolvido com o apoio do Centro Universitário Alves Faria.e da Escola de Engenharia, elétrica e mecânica da Universidade Federal de Goiás (UFG).

REFERÊNCIAS

- Aneel, 2017. Banco de Informações de Geração (BIG). Disponível em:
<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>
- Aneel, 2017. Nota Técnica Nº 0056/2017-SRD. Disponível em:
http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95E+S+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9
- Aneel, 2012. Resolução Normativa Nº 482. Disponível em:
<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>
- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB), 2017. Disponível em:
<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2017. Disponível em: <https://maps.nrel.gov/swera>
- Ministério de Minas e Energia (MME) – Boletim Mensal de Energia. Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/7994286/Boletim+Mensal+de+Energia+jan+2017.pdf/f9f255a3-7c0e-491d-8f6a-672907692b77>
- PVsyst S.A., 2015. User's Guide: PVsyst 6 Help. Disponível em: <http://files.pvsyst.com/help/index.html>
- Scheneberger, C. A., Farago, L. A., 2003. Minimanual compacto de geografia do Brasil. 1º Ed. São Paulo.

COMPARATIVE ANALYSIS OF REAL AND SIMULATED DATA FROM D PHOTOVOLTAIC PLANT

Abstract. *This research aims to obtain and analyze real data of generate energy of one micro-system photovoltaic at the School of Electrical Engineering, Mechanical and Computation - EMC, of Federal University of Goiás (UFG), in the city of Goiânia which came into operation in october of 2016. The power installed on the roof of the university building in Block B is 34kWh. It is proposed to obtain the error percentage of the results of the simulation and to compare with the actual data from generation, and through this error to perform the analysis of losses in the system. Also will be compared the results of analyzes in Goiás with different regions in Brazil. The results of the simulations and the system design will be presented in the software PVsyst 6.6.4, where they will be exposed to the losses involved and the possible causes of error in the system. It is expected to understand how the system reacts in the face of climate changes directly or indirectly on site, the potential of each region and the efficiency in the simulation, taking as a basis the impacts caused by the losses over a given time period.*

Key words: *Micro Generation Distributed Photovoltaic; Photovoltaic System Connected to the Electrical Network; Comparative Analysis; Simulation.*