

ANÁLISE COMPARATIVA DE PERFORMANCE ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE INSTALADOS NO PIAUÍ E NA EUROPA ATRAVÉS DE ÍNDICES DE MÉRITO

Juliane Batista Lima – batistalimajuliane@gmail.com

Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energia Solar do Piauí (GIPES).

Juan de Aguiar Gonçalves – juan.aguiar.goncalves@gmail.com

Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energia Solar do Piauí (GIPES).

Resumo. A proposta deste artigo é comparar através de índices de mérito a performance de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) no nordeste do Brasil, e alguns países da Europa, a fim de fornecer insumos que poderão ser utilizados por setores correlacionados ao setor fotovoltaico no âmbito acadêmico ou investimentos em implantação. A metodologia utilizada envolve o uso de índices de mérito já configurados para este fim pela *International Energy Agency* (IEA). O trabalho compara a performance do SFCR do campus de Floriano do Instituto Federal do Piauí com sistemas fotovoltaicos de *Langensbold* na Alemanha, *Collelongo* na Itália e em *Mount Soleil* na Suíça. Os resultados constatados dos índices de mérito ilustram a importância estratégica no âmbito de aproveitamento do potencial energético do estado do Piauí em relação a diversos locais do mundo onde o uso desta fonte renovável já é consolidado. Estes dados técnicos que estimulam investimentos tanto em pesquisa quanto em empreendimentos, provocam consequentemente o aumento de mão de obra qualificada para o país e o mundo.

Palavras Chave: Análise comparativa de rendimento de SFCR, Índices de mérito, Piauí.

1. INTRODUÇÃO

Os índices de desempenho utilizados para análise de performance de sistemas fotovoltaicos foram inicialmente definidos pela *International Energy Agency - Photovoltaic Power Systems Programm* (IEA-PVPS). O objetivo da aplicação destes parâmetros é que seja possível a realização de estudos no campo de energia fotovoltaica de forma que os dados de geração, produtividade, rendimento dos sistemas sejam processados dentro de procedimentos padrões e com indicadores de referência.

Tal metodologia é utilizada em âmbito mundial, desde estudos de performance na Índia (Kumar, 2014), até servir de base para análise de técnicas de seguidor de máxima potência em Taiwan ainda na década de noventa (Hua, 1998). A consolidação de meios padrões de análise do mérito de sistemas fotovoltaicos e sua aplicação utilizando dados de monitoramento é extremamente importante e crucial para o desenvolvimento de pesquisas na área.

Neste contexto, a proposta deste trabalho é utilizar os índices de mérito (taxa de desempenho, eficiência geral e fator capacidade) para comparar a performance entre um SFCR instalado no Brasil, no estado do Piauí, e países europeus onde o aproveitamento de energia solar fotovoltaica já está consolidado devido ao pioneirismo e ao investimento em pesquisas e estudos na área (Sinke, 2010). O sistema utilizado como base de estudo está instalado no campus de Floriano do Instituto Federal do Piauí, Brasil. Foram utilizados dados de três usinas da Europa localizadas: Alemanha - Langensbold, Itália - Collelongo, e Suíça - Mount Soleil.

O primeiro país escolhido foi a Alemanha pois investe em tecnologias e políticas relacionadas ao uso de energias renováveis e além da sua notoriedade com o uso da compensação de energia, o *net metering*, iniciou a adesão ao modelo *Feed-In-Tariff* (FIT) (Schmela, 2017). Segundo dados fornecidos pelo Ministério de Minas e Energia (MME), em 2016 o Brasil registrou 84,7 MW de capacidade instalada (2016), enquanto somente no ano de 2014 a Alemanha teve mais de 1 GW de instalações, e já possuía acumulada mais de 35 GWp, liderando em âmbito mundial os valores de capacidade instalada em energia solar (IEEE, 2015). O segundo Sistema fotovoltaico a ser estudado está na Itália, que no final de 2016 possui 18,9 GW de sistemas instalados e chegou a ser a quinta dos dez primeiros em termos de mercado global neste ano (Schmela, 2017). O terceiro país foi a Suíça, com invernos rigorosos, e um sistema com carga instalada de mais de 559 KWp, mesmo com valores de irradiação que chegam a 70,86 KWh/m² (IEA PVPS, 2009) que são baixíssimos se comparados ao mesmo período no Piauí na cidade de Floriano, onde encontra-se o SFCR do Instituto Federal do Piauí, o quarto sistema a ser analisado neste trabalho representado na Fig. 1.



Figura 1- Usina do SFCR IFPI-Floriano
 FONTE: CIDADE VERDE

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A tabela 1 mostra a descrição dos 4 sistemas escolhidos e suas particularidades relevantes ao estudo do rendimento, o país onde está localizada a usina, latitude e longitude (com valores negativos quando ao sul e oeste, respectivamente), capacidade instalada, área ativa de absorção da irradiação local e a eficiência dos módulos fotovoltaicos utilizados. A Potência nominal utilizada é a de *Standard Test Conditions* (STC) que representa as condições padrão de teste: irradiação de 1000W/m², temperatura do módulo de 25°C e massa do ar de 1,5.

Tabela 1 - Especificações básicas dos SFCR analisados
 FONTE: IEA PVPS, Adaptado.

| Nome da Planta | País | Latitude | Longitude | Potência Nominal em STC (KW) | Área Total dos módulos (m ²) | Eficiência (%) |
|--------------------------|----------|----------|-----------|------------------------------|--|----------------|
| 281_Langenselbold | Alemanha | 50,2 | 9,1 | 678,14 | 4.863,24 | 13,94 |
| CE10 | Itália | 41,89 | 13,58 | 49,68 | 356 | 13,96 |
| MtSOLEIL | Suíça | 47,15 | 7 | 559,68 | 4.464,9 | 12,54 |
| IFPI - Floriano | Brasil | -6,78 | -43,04 | 171,6 | 1.061,63 | 16,47 |

O sistema denominado 281_Langenselbold é uma planta que utiliza a tecnologia de célula policristalina assim como o gerador instalado na Itália e o gerador no Campus de Floriano do Instituto Federal do Piauí. Por outro lado, no SFCR de MtSoleil na Suíça possui módulos com células monocristalinas.

A metodologia utilizada consiste na análise e utilização de dados de geração de energia de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em países desenvolvidos em que há investimento em energia solar fotovoltaica. O estudo foi realizado comparando os índices de mérito: taxa de desempenho (PR), rendimento final (Yf) e fator capacidade (FC).

Os índices de análise de desempenho trabalhados neste estudo são:

- Pn: *Nominal Power* – Potencia Nominal (KWp).
- EIO: *Energy from Inverter* – Energia do inversor (KWh).
- Yf : *Final Yield* – Rendimento final do sistema. Razão entre a energia gerada e a capacidade de geração do sistema (KWh/KWp) média diária.
- Yr: *Reference Yield* – Rendimento de Referência. Valor considerado ao dimensionar um sistema fotovoltaico, pois considera a energia solar disponível de acordo com o local (KWh/KWp).
- PR: *Performance Ratio* – Taxa de Desempenho.
- Epv: Índice de rendimento quanto à área útil.
- Hi: *Irradiation in Array Plane* – Irradiação no plano da instalação (KWh/m²).
- AA: *Array Area* – Área Total ativa dos módulos (m²).

- FC: Fator Capacidade consiste na razão entre o que é fornecido pelo inversor e o que o sistema seria capaz de gerar se funcionasse 24h por dia todos os 365 dias do ano na sua potência nominal.

O rendimento final é medido a partir da razão entre a energia produzida pelo sistema e a potência nominal do mesmo representado na Eq. (1) (IEA - PVPS,2015). Por outro lado, o rendimento de referência serve de parâmetro de produtividade, utilizando-se dos valores da irradiação disponível de acordo com a Eq. (2). Ambos constituem também a taxa de desempenho que é a razão entre o rendimento final e o de referência – Eq. (3).

$$Y_f = \frac{E_{IC}}{P_n} \quad (1)$$

$$Y_r = \frac{H_i}{P_n} \quad (2)$$

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (3)$$

O rendimento quanto a área ativa de absorção da irradiação é representado na Eq. (4) (IEA-PVPS, adaptada). O fator capacidade, portanto é um índice que mostra a porcentagem relativa entre o que o sistema gerou e que ele poderia produzir se funcionasse ininterruptamente como ilustrado na Eq. (5). Para aplicação dos métodos escolhidos os dados utilizados de cada sistema foram obtidos na ferramenta digital de banco de dados do IEA (2014).

$$E_{pv} = \frac{E_{IO}}{(H_i^* AA)} \quad (4)$$

$$FC = \frac{\sum_{i=1}^{12} E_{IO}}{P_n^* 24^* 365} \quad (5)$$

A Tabela 2 descreve os dados do SFCR instalado na Alemanha, com período de coleta dos dados (ano/mês), irradiação global, energia entregue pelo inversor, capacidade instalada e área de ocupação. As mesmas informações são dadas pela Tabela 3 relativas à usina de Collelongo na Itália enquanto a Tabela 4 discorre sobre os parâmetros da usina do monte Soleil na Suíça. Tais valores foram coletados no banco de dados de performance do aplicativo online *Task 13 Performance Database* (IEA PVPS, 2017). Na Tabela 5 encontram-se dados do sistema fotovoltaico instalado no IFPI de Florianópolis no Brasil.

Tabela 2 – Dados SFCR Alemanha
Fonte: IEA-PVPS, 2015.

| 281_Langensfeld - GERMANY | | | | | |
|---------------------------|-----|--------------------------------------|-----------|----------------------|----------------------|
| Ano | Mês | H _i (KWh/m ²) | EIO | P _n (KWp) | AA (m ²) |
| 2015 | 1 | 19,05 | 11.167,50 | 678,14 | 4.863,24 |
| 2015 | 2 | 41,7 | 26.858,00 | | |
| 2015 | 3 | 90,2 | 59.864,40 | | |
| 2015 | 4 | 148,57 | 95.324,30 | | |
| 2015 | 5 | 154,89 | 97.221,00 | | |
| 2015 | 6 | 154,62 | 95.374,60 | | |
| 2015 | 7 | 168,25 | 98.881,50 | | |
| 2015 | 8 | 149,88 | 91.212,20 | | |
| 2015 | 9 | 92,93 | 57.992,50 | | |
| 2015 | 10 | 60,98 | 39.002,50 | | |
| 2015 | 11 | 28,47 | 17.375,60 | | |
| 2015 | 12 | 20,4 | 12.147,90 | | |
| ANUAL | | 1.129,94 | 70.2422 | - | - |

Tabela 3 – Dados SFCR Itália
 Fonte: IEA-PVPS, 2014.

| C10 – ITALIA | | | | | |
|--------------|-----|-----------------------------|-----------|-------------|-------------------------|
| Ano | Mês | Hi (KWh/m ²) | EIO | Pn (KWp) | AA (m ²) |
| 2014 | 1 | 59,04 | 2.108,06 | 49,68 | 356,00 |
| 2014 | 2 | 88,62 | 3.413,61 | | |
| 2014 | 3 | 133,84 | 5.079,88 | | |
| 2014 | 4 | 157,15 | 5.965,18 | | |
| 2014 | 5 | 177,53 | 6.551,47 | | |
| 2014 | 6 | 179,00 | 6.431,00 | | |
| 2014 | 7 | 175,00 | 6.234,00 | | |
| 2014 | 8 | 218,35 | 7.740,40 | | |
| 2014 | 9 | 149,00 | 5.353,00 | | |
| 2014 | 10 | 133,00 | 4.883,00 | | |
| 2014 | 11 | 86,91 | 3.148,92 | | |
| 2014 | 12 | 63,77 | 2.127,11 | | |
| ANUAL | | 1.621,21 | 59.035,63 | - | - |

Tabela 4 – Dados SFCR Suíça
 Fonte: IEA-PVPS, 2014.

| MtSOLEIL – SWITZERLAND | | | | | |
|------------------------|-----|-----------------------------|------------|-------------|----------------------|
| Ano | Mês | Hi (KWh/m ²) | EIO | Pn (KWp) | AA (m ²) |
| 2009 | 1 | 95,72 | 37.317,33 | 559,68 | 4.464,90 |
| 2009 | 2 | 70,86 | 11.198,89 | | |
| 2009 | 3 | 115,67 | 38.104,46 | | |
| 2009 | 4 | 154,04 | 64.379,01 | | |
| 2009 | 5 | 152,18 | 63.467,20 | | |
| 2009 | 6 | 148,93 | 59.765,38 | | |
| 2009 | 7 | 144,30 | 57.393,87 | | |
| 2009 | 8 | 173,29 | 67.985,39 | | |
| 2009 | 9 | 128,83 | 52.826,08 | | |
| 2009 | 10 | 112,39 | 47.060,08 | | |
| 2009 | 11 | 52,29 | 19.824,29 | | |
| 2009 | 12 | 35,53 | 8.242,23 | | |
| ANUAL | | 1.384,03 | 527.564,20 | - | - |

Tabela 5 – Dados SFCR Brasil – Floriano

Fonte: Sá, 2017.

| Floriano – Brasil | | | | | |
|-------------------|-----|-----------------------------|-----------|-------------|-------------------------|
| Ano | Mês | Hi (KWh/m ²) | EIO | Pn (KWp) | AA (m ²) |
| 2017 | Jan | 135,00 | 19.478,00 | 171,60 | 1061,62 |
| 2017 | Fev | 145,08 | 16.979,00 | | |
| 2017 | Mar | 154,69 | 19.504,00 | | |
| 2017 | Abr | 151,20 | 20.491,00 | | |
| 2017 | Mai | 173,91 | 20.015,00 | | |
| 2016 | Jun | 153,60 | 19.676,00 | | |
| 2016 | Jul | 189,72 | 22.085,00 | | |
| 2016 | Ago | 199,64 | 24.871,00 | | |
| 2016 | Set | 171,92 | 24.167,00 | | |
| 2016 | Out | 182,90 | 25.789,00 | | |
| 2016 | Nov | 165,90 | 22.786,00 | | |
| 2016 | Dez | 162,75 | 20.148,00 | | |

3. RESULTADOS

Os dados da taxa de desempenho variam no decorrer dos meses conforme representado na Fig. 3.

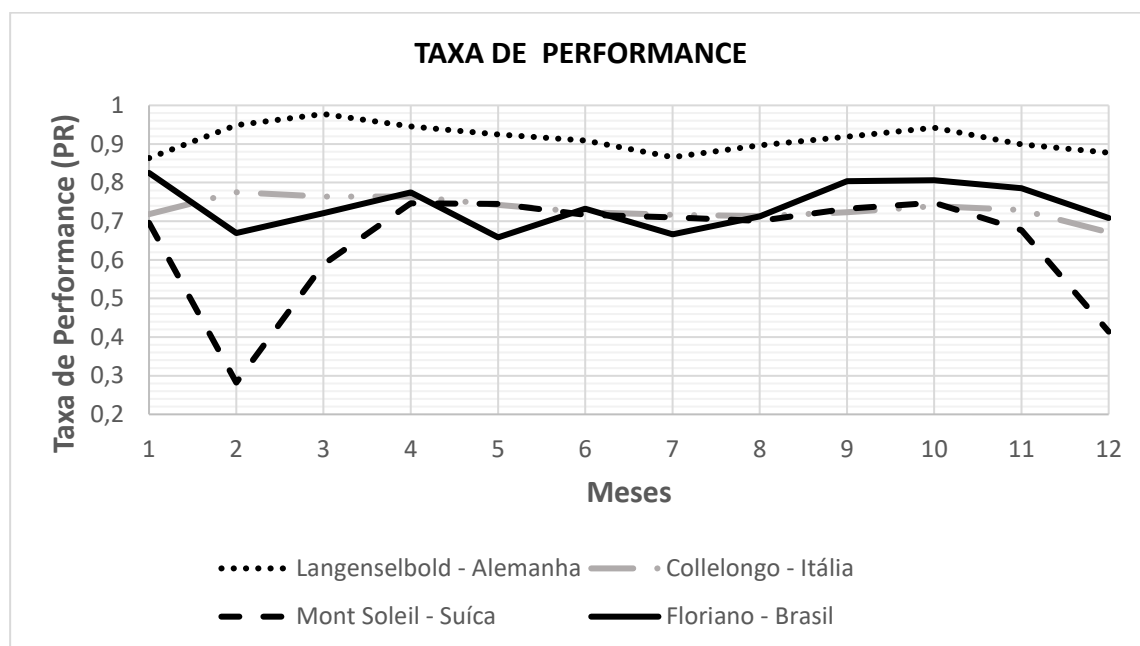


Figura 3 – Taxa de performance

A Suíça tem uma queda bem significativa em fevereiro, enquanto os outros sistemas se comportam de forma mais estável.

O SFCR da Alemanha se destaca na performance, chegando próximo a 100% da geração esperada.

A Fig. 4 descreve um comportamento semelhante analisando os mesmos dados ilustrados na Fig. 3.

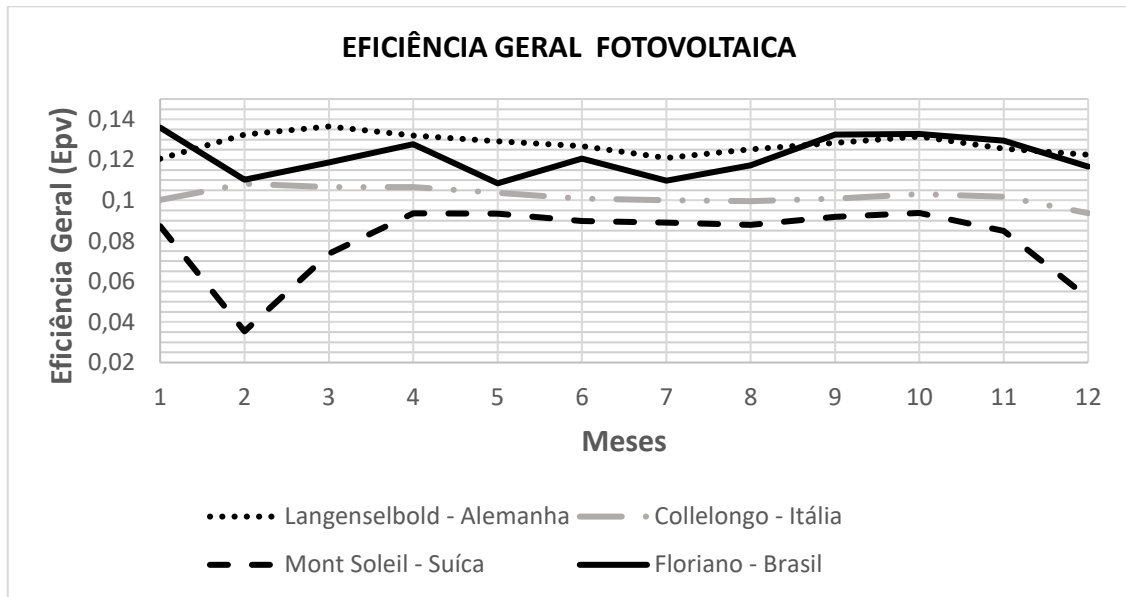


Figura 4 – Eficiência Geral dos Sistemas

Analisando a Fig. 4 é possível observar um comportamento semelhante, o que é justificável já que a eficiência geral difere da PR apenas por considerar a área da instalação. É notável também a variação tanto na performance quanto na eficiência dos sistemas instalados na Europa, enquanto na cidade piauiense o sistema se comporta de maneira mais estável. A Fig. 5 trata da comparação entre os índices de fator capacidade dos sistemas envolvidos.

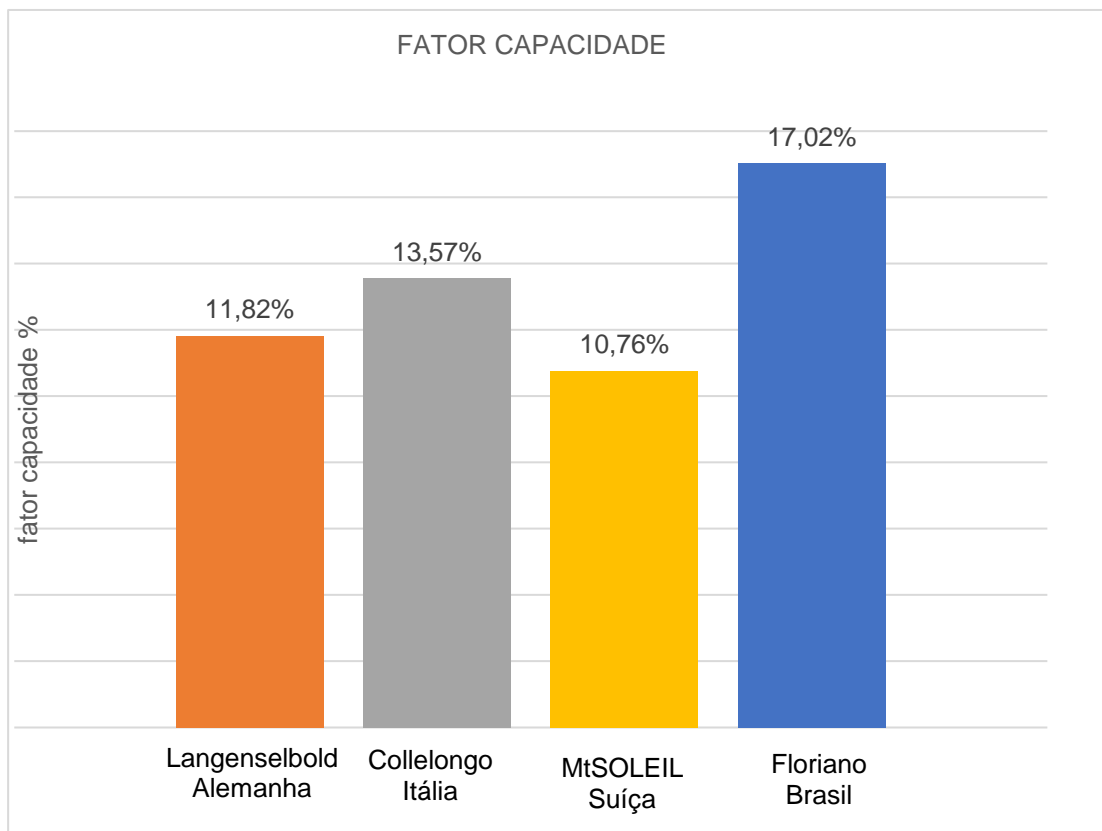


Figura 5 – Fator Capacidade

Na Fig. 5 observa-se que o SFCR de Floriano possui maior FC do que os outros sistemas, revelando assim o potencial da região quanto a irradiação e os resultados de geração fotovoltaica.

A Tab. 6 revela a variação de PR e Yf dos resultados obtidos,

Tabela 6 – Variação dos resultados.

| SFCR | PR | Yf (KWh/KWp) |
|-------------------------------------|-------------|---------------|
| 281_Langenselbold – Alemanha | 0,86 - 0,98 | 0,53 - 4,70 |
| C10 – ITALIA | 0,67 - 0,77 | 1,37 - 5,02 |
| MtSOLEIL – SWITZERLAND | 0,28 - 0,75 | 0,47 - 3,92 |
| IFPI-FLORIANO BRASIL | 0,67 - 0,81 | 3,53 - 4,85 |

Conforme ilustrado na Tabela 6 o SFCR instalado no Piauí varia de forma mais sutil do que os sistemas instalados na Europa onde as quatro estações do ano são bastante distintas em relação ao Brasil.

4. CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos a partir da análise e da aplicação dos índices de mérito, é possível observar que o rendimento de referência e final do Piauí é maior do que dos outros sistemas analisados, resultando em uma taxa de desempenho superior aos demais, com exceção da Alemanha.

Uma alta taxa de desempenho implica em dimensionamento e projeto de sistemas mais adequados, já que os valores reais foram próximo de suas respectivas referências.

Contudo dentre os índices de mérito considerados o fator capacidade do SFCR instalado no Piauí destacou-se dos demais sistemas analisados conforme Tab. 7.

| SFCR | PR | Yf | FC |
|------------------------------|------|------|-------|
| IFPI-Florianópolis - Brasil | 0,74 | 4,09 | 17,13 |
| 281_Langenselbold - Alemanha | 0,91 | 2,83 | 11,82 |
| C10 - ITALIA | 0,73 | 3,25 | 13,56 |
| MtSOLEIL - Suíça | 0,65 | 2,57 | 10,76 |

Tabela 7 – Valores médios obtidos dos resultados de índices de méritos dos SFCR

A taxa de desempenho chega a ser maior na Alemanha e os valores bem próximos da Itália e Suíça. Este índice está mais relacionado a performance quanto a projeto, otimização do desempenho dos equipamentos, e até temperatura, o que pode ser estudado em trabalhos futuros. O investimento em pesquisa e capacitação relacionados à energia solar fotovoltaica, tem como consequência direta a qualificação de profissionais da área portanto sistemas bem dimensionados, projetados como menor número de perdas possível e resultados otimizados.

REFERÊNCIAS

- Finocchio, M. A. F. Noções de Energia Solar Fotovoltaica, 2013. 11 p.
- Hua, C., Shen, C., 1998. Comparative Study of Peak Power Tracking Techniques for Solar Storage System. National Yunlin University of Science & Technology.
- IEA-PVPS. Analysis of the Operational Performance of the IEA Database PV Systems. Poster VD2.28 T13-03:2014, 2000.
- IEA-PVPS. Analysis Of Photovoltaic Systems. St. Ursen: Report lea-pvps T2-01: 2000, 2000. 233 p.
- IEA-PVPS. Analytical Monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems. St. Ursen: Report lea-pvps T13-03:2014, 2014.
- IEA-PVPS. Task 13 Performance Database. T13:2009, 2014.
- IEEE. Twilight of the Grids. Power and Energy Magazine, 2015. 12p.
- Kumar, K.A., Sundareswaran, K., Venkateswaran, P. R., 2014. Performance study on a grid connected 20 KWp solar photovoltaic installation in an industry in Tiruchirappalli (India), Energy for Sustainable Development 23 (2014) 294–304.
- Ministério de Minas e Energia (MME). Boletim Mensal de Monitoramento do Setor Elétrico – dezembro de 2016. Brasília: MME, 2017.

Sinke, W. C., Montoro, D. F., Despotou, E., 2010. The Solar Europe Industry Initiative: Research, Technology Development and Demonstration in Support of 2020 and Long-Term Targets. IEEE.

Schmela, M., Döring, T., Gómez, A. P. B. Solar Power Europe. Global Market Outlook for Solar Power / 2017 – 2021, 2017. 60p.

Sá, F. N., Santos F. F. P., Moraes, A. M., 2017. Análise Ambiental e Econômica do Primeiro Ano de Operação do Sistema Fotovoltaico de uma Instituição Federal de Ensino no Brasil. ASADES 2017.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PERFORMANCE BETWEEN ON GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEMS INSTALLED IN PIAUÍ AND EUROPE THROUGH PARAMETERS INDEX

Abstract. *The objective of this article is to compare, through merit indexes, the performance of on grid photovoltaic systems (SFCR) in the state of Piauí, and some European countries, a guideline for the development of technologies for the photovoltaic sector. The methodology used with the use of indexes of merit is already configured for this purpose by the International Energy Agency (IEA). The work compares a SFCR performance of the Floriano campus of the Federal Institute of Piauí with the photovoltaic systems of Langenselbold in Germany, the Collelongo in Italy and the Mount Soleil in Switzerland. The intent is that, with the results of this study, Piauí will increasingly stands out about its potential on photovoltaic solar energy resources, and will attract investments in both research and projects, generating skilled and labor of reference around the country and the world.*

Key words: *Comparative analysis of on grid photovoltaics systems yield, Parameters indexes, Piauí.*